

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VIBRAÇÃO INCIDENTE SOBRE O CORPO INTEIRO DO
OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA DE
VIBRAÇÃO COM DIFERENTES LASTROS, VELOCIDADES E
PRESSÕES DE INFLAÇÃO DOS PNEUS**

JEFFERSON SANDI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Julho - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VIBRAÇÃO INCIDENTE SOBRE O CORPO INTEIRO DO
OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA DE
VIBRAÇÃO COM DIFERENTES LASTROS, VELOCIDADES E
PRESSÕES DE INFLAÇÃO DOS PNEUS**

JEFFERSON SANDI

Orientador: Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Julho - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP -
FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S217v Sandi, Jefferson, 1990-
Vibração incidente sobre o corpo inteiro do operador de
trator agrícola ensaiado em pista de vibração com diferen-
tes lastros, velocidades e pressões de inflação dos pneus /
Jefferson Sandi. - Botucatu : [s.n.], 2015
ix, 101 f. : fots. color., grafs. color., ils. color.,
tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Kleber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Mecanização agrícola. 2. Segurança do trabalho. 3.
Ergonomia. 4. Insalubridade. I. Lanças, Kleber Pereira. II.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIENCIAS AGRONOMICAS DE BOTUCATU

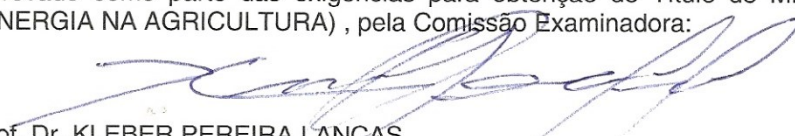
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: VIBRAÇÃO INCIDENTE SOBRE O CORPO INTEIRO DO OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA DE VIBRAÇÃO COM DIFERENTES LASTROS , VELOCIDADES E PRESSÕES DE INFLAÇÃO DOS PNEUS

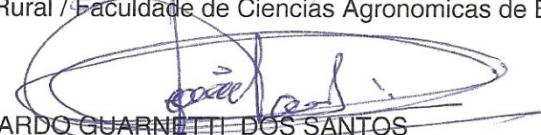
AUTOR: JEFFERSON SANDI

ORIENTADOR: Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA) , pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru



Prof. Dr. RICARDO CARVALHO TOSIN

Data da realização: 22 de julho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Natalino e Terezinha por serem a base em todos os momentos em minha vida.

Aos meus irmãos Rodrigo e Alessandra pelo incentivo e apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças pela disponibilidade, conselhos, conhecimentos e oportunidades.

Aos senhores membros da comissão de avaliação deste trabalho por aceitarem gentilmente o convite; honrando-nos com suas presenças, comentários e sugestões.

A todos os integrantes do NEMPA, Emanuel Rangel Spadim, Carlos Renato Guedes Ramos, Murilo Battistuzzi Martins, Miguel Pasccuci, João Victor Paulo Testa, Fellippe Aaron Damasceno, Ronilson de Souza Santos, Barbara Barreto Fernandes, Lucas Doimo e Thiago Ramos pela paciência, companheirismo e ajuda.

A Romulo Leonardo da Silva pelo empenho, dedicação e esforço na construção da pista de vibração.

Ao Professor João Eduardo Guarnetti dos Santos pelo auxílio com o sistema de aquisição de dados

A minha namorada Gabrielle de Castro Macedo pelo apoio, suporte e carinho em todos os momentos.

A todos os meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram na concretização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) e à Faculdade de Ciências Agronômicas, pela oportunidade de fazer parte do corpo discente de uma das melhores instituições de ensino e pesquisa do país.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro concedido.

Minha gratidão plena.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO.....	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. O trator agrícola	8
2.2. Vibrações em tratores agrícolas	9
2.3. Pneus e distribuição de massas de tratores agrícolas	21
2.4. Posto operacional de tratores agrícolas	24
2.5. Legislações e normas sobre vibrações em operadores de tratores agrícolas	28
2.6. Pista de vibração	32
2.7. Ensaios em pista de vibração	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1. Material.....	35
3.1.1. Pista de ensaio	35
3.1.2. Trator.....	38
3.1.3. Assento	39
3.1.4. Equipamentos de aquisição dos dados	40
3.2. Métodos	41
3.2.1. Medição da vibração	41
3.2.2. Massa do trator	44
3.2.3. Velocidade média de deslocamento	45
3.2.4. Pressões internas dos pneus.....	46
3.2.5. Rotação do motor	46
3.2.6. Tração dianteira auxiliar.....	46
3.2.7. Configuração do equipamento	46
3.2.8. Parâmetros avaliados.....	46
3.2.9. Análise estatística.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1. Análise discriminante para a variável pressão	50
4.2. Aceleração média resultante	51
4.3. Aceleração máxima resultante	54
4.4. Pico máximo de aceleração.....	56
4.5. Aceleração mínima resultante.....	59
4.6. Fator de crista.....	61
4.7. Valor da dose de vibração.....	62
4.8. Projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho	65
4.9. Componentes principais da aceleração média resultante.....	68
4.10. Análise de Componentes Principais do Valor de Dose de Vibração	76
5 CONCLUSÕES.....	83

6 REFERÊNCIAS	85
7 ANEXOS	95
7.1. Anexo 1 – Certificado de calibração do equipamento de aquisição de dados.	95
7.2. Anexo 2 – Distribuição dos degraus para a pista de vibração de 35 m segundo a Norma ISO 5008 (2002).	97
7.3. Anexo 3 – Exemplo gráfico de acelerações obtidas para cada eixo (x, y, z) ao longo do deslocamento em pista padronizada de ensaio de vibração de 35 m.	100
7.4. Anexo 4 – Recomendação do fabricante para uso dos pneus TM95 14.9-24 (dianteiros) e TM95 23.1-30 (traseiros).....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzido (fadiga)” para aceleração da vibração na direção longitudinal a_z	15
Tabela 2. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzido (fadiga)” para aceleração da vibração na direção transversal a_x e a_y	15
Tabela 3. Fatores de avaliação relativos à banda de frequência de sensibilidade (4 a 8 Hz no caso de vibração $\pm a_z$ 1a 2 Hz no caso de vibração $\pm a_y$ ou $\pm a_x$) de aceleração máxima para as curvas de respostas das figuras 3 e 5.....	16
Tabela 4. Características técnicas de catálogo do trator utilizado no ensaio.....	39
Tabela 5. Critério de julgamento e tomada de decisão.....	48
Tabela 6. Subdivisões e denominação dos tratamentos do delineamento experimental. ...	49
Tabela 7. Resultado da análise discriminante para as três combinações de pressões utilizadas no ensaio.....	51
Tabela 8. Valores de soma de aceleração média ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	52
Tabela 9. Valores de soma de aceleração média resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.....	52
Tabela 10. Valores de soma de aceleração média resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.....	53
Tabela 11. Valores de soma de aceleração máxima resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	55
Tabela 12. Valores de soma de aceleração máxima resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.....	55
Tabela 13. Valores de soma de aceleração máxima resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.....	56
Tabela 14. Valores de soma de pico máximo de aceleração ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	57
Tabela 15. Valores de soma de pico máximo de aceleração ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.....	57
Tabela 16. Valores de soma de pico máximo de aceleração ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	58
Tabela 17. Valores de soma de aceleração mínima resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	59
Tabela 18. Valores de soma de aceleração mínima resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.....	60
Tabela 19. Valores de soma de aceleração mínima resultante ($m s^{-2}$) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.....	60
Tabela 20. Valores de fator de crista (dB) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	61
Tabela 21. Valores de fator de crista (dB) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.....	62

Tabela 22. Valores de fator de crista (dB) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.....	62
Tabela 23. Valores da dose de vibração ($\text{m s}^{-1,75}$) de lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.....	63
Tabela 24. Valores da dose de vibração ($\text{m s}^{-1,75}$) de lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.....	63
Tabela 25. Valores da dose de vibração ($\text{m s}^{-1,75}$) de lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.....	64
Tabela 26. Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho (m s^{-2}) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento para a combinação de pressões P1. .	66
Tabela 27. Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho (m s^{-2}) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento para a combinação de pressões P2. .	66
Tabela 28. Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho (m s^{-2}) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento para a combinação de pressões P3. .	67
Tabela 29. Componentes principais para aceleração média resultante na combinação de pressões P1.	68
Tabela 30. Componentes principais para aceleração média resultante na combinação de pressões P2.	68
Tabela 31. Componentes principais para aceleração média resultante na combinação de pressões P3.	69
Tabela 32. Componentes principais para o valor de dose de vibração na combinação de pressões P1.	76
Tabela 33. Componentes principais para o valor de dose de vibração na combinação de pressões P2.	76
Tabela 34. Componentes principais para o valor de dose de vibração na combinação de pressões P3.	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclos de vibrações ao longo do tempo.	10
Figura 2. Vibrações naturais de diferentes partes do corpo humano.....	12
Figura 3. Efeito do nível de vibração sobre o ser humano.	13
Figura 4. Limite de aceleração longitudinal (a_z) como função da frequência e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).	17
Figura 5. Limite de aceleração longitudinal (a_z) como função da frequência (para banda de 1/3 de oitava) e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).....	18
Figura 6. Limite de aceleração transversal (a_x e a_y) como função da frequência e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).	19
Figura 7. Limite de aceleração transversal (a_x e a_y) como função da frequência (para banda de 1/3 de oitava) e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).	20
Figura 8. Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos.....	25
Figura 9. Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida.....	31
Figura 10. Pista de vibração utilizada para ensaio.	36
Figura 11. Trecho da pista de vibração apresentando a disposição e as diferentes alturas dos degraus de madeira e medidas de comprimento e largura de cada trecho da pista.....	36
Figura 12. Representação de um dos degraus de madeira utilizados na pista de vibração.	37
Figura 13. Variação de altura em um trecho da pista de ensaio.	37
Figura 14. Trator utilizado para ensaio.	38
Figura 15. Características dimensionais do assento.	39
Figura 16. Assento do trator ensaiado.	40
Figura 17. Medidor de vibração HVM 100.	41
Figura 18. Tacômetro digital DT6234B.	41
Figura 19. Fixação do acelerômetro SEN027 - <i>Seat Pad</i> ao assento do operador.	43
Figura 20. Fixação do equipamento de aquisição de dados HVM 100.	43
Figura 21. Exemplo de lastragem do trator.	44
Figura 22. Exemplo de lastragem do trator.	45
Figura 23. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P1.	70
Figura 24. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P2.	70
Figura 25. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P3.	71
Figura 26. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P1.....	72
Figura 27. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P2.....	72
Figura 28. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P3.....	73

Figura 29. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P1.	74
Figura 30. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P2.	75
Figura 31. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P3.	75
Figura 32. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P1.....	77
Figura 33. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P2.....	77
Figura 34. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P3.....	78
Figura 35. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P1.....	79
Figura 36. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P2.....	79
Figura 37. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P3.....	80
Figura 38. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P1.....	81
Figura 39. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P2.....	81
Figura 40. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P3.....	82
Figura 41. Certificado de calibração do equipamento HVM-100.	96
Figura 42. Exemplo gráfico de acelerações nos eixos x, y e z obtida no deslocamento sobre a pista de vibração de ensaio padronizada em uma das repetições realizadas com o trator utilizando a máxima lastragem em velocidade de deslocamento de $1,19 \text{ m s}^{-1}$	100
Figura 43. Catálogo disponibilizado pelo fabricante dos pneus empregados no ensaio de vibração em pista padronizada.	101

RESUMO

Uma das principais variáveis que afetam o rendimento produtivo dos operadores de tratores agrícolas que podem causar sérios problemas de saúde é a vibração gerada durante o funcionamento dessa máquina. Este trabalho teve como objetivo avaliar a vibração que incide sobre o corpo inteiro do operador através do assento de um trator agrícola mediante ensaio em pista de vibração padronizada. Empregou-se um trator de 92 kW de potência em quatro condições de lastragem: completamente lastrado, empregando somente lastro sólido, somente lastro líquido e completamente sem lastros, em quatro velocidades de deslocamento: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; $1,47 \text{ m s}^{-1}$; $1,75 \text{ m s}^{-1}$ e $2,08 \text{ m s}^{-1}$, três combinações de pressões de inflação nos rodados traseiros e dianteiros, respectivamente: 82,73 kPa e 110,31 kPa; 110,31 kPa e 137,85 kPa e 137,85 kPa e 165,47 kPa. Utilizou-se um acelerômetro de três eixos (eixos x, y e z), fixado sobre o assento do trator para avaliação do efeito da vibração no corpo do operador. A aquisição foi feita com o aparelho HVM – 100 e software BLAZE® 6.1.1, sendo obtidos os parâmetros de acelerações média, máxima e mínima, pico máximo de aceleração, valor da dose de vibração, o fator de crista e a projeção de dose para 8 horas de trabalho. Realizou-se a análise de variância e separação de médias para todos os componentes analisados e a análise de componentes principais para as medições de aceleração média e valor da dose de vibração. Todas as análises estatísticas foram feitas com o teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). As combinações de pressões de inflação dos pneus não afetaram os valores de vibração que incidiram sobre o

operador. A velocidade foi o fator que apresentou maior influência na vibração incidente sobre o operador, onde a menor velocidade de deslocamento do trator resultou nos melhores cenários de conforto. A lastragem máxima ocasionou os cenários menos prejudiciais ao operador quando combinada com a menor velocidade. Para o valor de dose de vibração não foram encontrados valores acima do limite de exposição. Na projeção de dose para oito horas de trabalho somente o tratamento com lastragem máxima (L1) e maior velocidade, na combinação de pressão P1 excedeu o limite de exposição. Tanto para a aceleração média quanto para o valor de dose de vibração do primeiro componente os valores foram determinados pelos três eixos analisados, enquanto o segundo componente sofreu influência maior dos valores do eixo y (deslocamento lateral).

VIBRATION INCIDENT ON WHOLE BODY OF OPERATOR OF AGRICULTURAL TRACTOR TESTED IN A VIBRATION TRACK WITH DIFFERENT WEIGHTS, SPEEDS AND PRESSURES FROM INFLATION OF TIRES

Botucatu, 2015.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JEFFERSON SANDI

Adviser: KLEBER PEREIRA LANÇAS

SUMMARY

One of the main variables that affect the productive performance of operators of agricultural tractors and can cause serious health problems is the vibration generated during the operation of the machine. This work aimed to evaluate the vibration that affects the whole body of the operator through the seat of a farm tractor in a standardized vibration track test. It was used a 92 kW tractor with four conditions of ballasting: full weight, employing only solid ballast, only liquid ballast and completely without ballast, in four speeds of displacement: 1.19 m s^{-1} ; 1.47 m s^{-1} ; 1.75 m s^{-1} and 2.08 m s^{-1} , and three combinations of inflation pressures in the rear and front axle, respectively: 82.73 kPa and 110.31 kPa; 110.31 kPa and 137.85 kPa and 137.85 kPa and 165.47 kPa. It was utilized a three-axis accelerometer (x, y, and z axes), fixed on the tractor seat for evaluation of the effect of vibration on the whole body of the operator. The acquisition was made with HVM-100 and software BLAZE ® 6.1.1, being obtained the average acceleration parameters, maximum and minimum acceleration, vibration dose value, the crest factor and the dose projection to 8 hours of work. It was realized the analysis of variance and average separation for all components analysed, and analysis of major components for the values of average acceleration and vibration dose value. All the statistical analyses were made with Tukey test at 5% probability ($p < 0.05$). Combinations of tire inflation pressures doesn't affected the values of vibration that occurred on whole body of the operator. The speed was the factor that showed greater influence on vibration of the whole body of the operator, where the smallest tractor displacement speed resulted in the best scenarios. The maximum ballast presented the best scenarios for the operator when combined with the lower speed. For the vibration dose value was not found values above the exposure limit. On dose projection for 8 hours of

work, only the treatment with maximum ballast weights (L1) and greater speed in combination of pressure P1, has exceeded the limit of exposure. For the average acceleration and vibration dose values the first component were determined by three axes values, while the second component suffered greater influence of the values of the y-axis (lateral acceleration).

Keywords: Agricultural mechanization; work safety, ISO 5008 track, comfort, unsanitary conditions, ergonomics.

1 INTRODUÇÃO

O emprego de máquinas na agricultura permitiu maior facilidade na implantação, manutenção e colheita das culturas, pois proporciona, principalmente, maior rendimento da mão de obra do trabalhador no desempenho de suas atividades no campo.

A mecanização agrícola permite que todas as práticas culturais possam ser realizadas nos períodos mais adequados, maximizando o aproveitamento do tempo e dos benefícios dos insumos utilizados no campo. Além disso, as máquinas contribuem para diminuir a insalubridades de muitas dessas atividades.

Porém, as máquinas agrícolas, durante seu funcionamento, geram vibrações mecânicas que são transmitidas por toda a sua estrutura e para o ambiente que a rodeia. Quando estas ocorrem em níveis indesejados e por períodos de exposição mais longos que o suportável, podem causar problemas de saúde aos indivíduos expostos às mesmas.

Muitos autores indicam que as vibrações são as grandes responsáveis por muitos dos afastamentos de trabalhadores no campo e também pela redução da qualidade do trabalho realizado. Isso ocorre devido ao efeito negativo das vibrações que ocorrem em níveis indesejados, atingindo órgãos e causando a diminuição da capacidade de trabalho.

O trator agrícola é amplamente utilizado como uma das principais fontes de potência para desempenho das atividades agrícolas devido à maximização da

capacidade de trabalho da mão de obra, redução dos custos econômicos, do tempo gasto nas atividades rurais e pela versatilidade para uso em diversas operações e atividades.

Os ensaios de tratores agrícolas servem para avaliar o desempenho operacional e determinar a real capacidade de trabalho dos mesmos, a eficiência na utilização do combustível, da força e potência do motor, gerar dados para o correto dimensionamento de máquinas e implementos que serão acionados pelo trator, avaliar o nível de segurança e conforto do operador, além de embasar modificações estruturais e de componentes destes veículos. As avaliações realizadas também devem abordar a conformidade de todos os aspectos das máquinas com as legislações que regulamentam a fabricação e venda destes produtos.

Os procedimentos mais utilizados nos ensaios buscam atender as normas internacionais da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) e da *International Organization for Standardization* (ISO), gerando informações importantes para comparações e melhorias que possam contribuir para maximizar as capacidades e a obtenção de condições de trabalho boas. Os ensaios com pistas de vibrações e sensores específicos para tal também são normatizados por órgãos internacionais de regulamentação.

Nos tratores agrícolas ocorrem vibrações mecânicas de baixa frequência, que são transmitidas até o operador através de seus componentes. Devido aos problemas de saúde e desconforto causados por estas vibrações é muito importante buscar meios de minimiza-las, melhorando as condições de trabalho do operador de trator agrícola.

O assento dos tratores agrícolas recebe muita atenção por ser um dos maiores responsável em evitar que as vibrações cheguem até o operador, mas também a adoção de cabines com suspensões e de outros componentes capazes de absorver a energia vibracional gerada pela máquina durante seu funcionamento geram grandes contribuições nesse aspecto.

Assim, este trabalho teve como objetivo estudar a vibração mecânica incidente sobre o operador de um trator agrícola 4x2 TDA com cabine ensaiado em pista de vibração com diferentes lastros, velocidades e pressões de inflação dos pneus.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização de máquinas agrícolas permite ao produtor realizar as práticas de cultivo dentro do período ótimo e com as condições climáticas adequadas para a implementação das mesmas, além de tornar o serviço mais produtivo, confortável e com menor risco à saúde (ALVES et al., 2005). Isso possibilita maior crescimento da agricultura por facilitar o planejamento e a execução das atividades na propriedade, aliando qualidade de trabalho com economia de recursos.

As máquinas agrícolas vêm sendo constantemente atualizadas com novas tecnologias para suprir as demandas de produtores rurais, cada vez mais exigentes em soluções inovadoras condizentes com a real necessidade de sua atividade, principalmente em relação ao custo das operações mecanizadas (AREND et al., 2005). Para atender a demanda do mercado consumidor, as máquinas agrícolas devem passar por avaliações que permitam conhecer as suas reais características e capacidades, além de permitir a correção dos erros de projeto ou de construção que possam existir.

A vibração mecânica possui como grandeza a aceleração, que deve ser expressa como a raiz quadrada da média dos quadrados (*RMS - Root Mean Square*). São quatro fatores físicos que afetam a resposta humana à vibração: frequência, direção,

intensidade e duração (ISO 2631, 1978). Quando um ou mais destes fatores se encontra acima do nível desejado podem ser gerados problemas de saúde no organismo.

Para Lanças et al. (2009), as vibrações estão diretamente ligadas ao afastamento por doença do trabalho no país. Estas vibrações ocasionam grande desconforto e aumentam a fadiga do trabalhador, podendo-se classificar as mesmas de acordo com a região do corpo atingida em: vibrações de corpo inteiro, comuns em atividades de transporte, tais como caminhão, trator, empilhadeira, ônibus, etc., e vibrações de extremidades que afetam principalmente mãos e braços.

A preocupação com a saúde do operador deve ser constante devido a gravidade das injúrias ao organismo que podem decorrer por descuidos em relação a vibração ocorrente durante o desempenho das atividades com o trator. Por exemplo, a exposição às vibrações de corpo inteiro pode levar ao desenvolvimento de patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral (SOEIRO, 2011).

Assim, para atender as necessidades da agricultura por equipamentos cada vez melhores, o desenvolvimento de novas máquinas deve ser feito buscando construir produtos que preencham as demandas atuais dos agricultores e, na medida do possível, que sejam capazes de adiantarem-se as necessidades futuras do mercado (CAÑAVETE, 1975). Isso acaba permitindo a disponibilização de produtos melhores e com uma vida útil maior, o que é interessante principalmente do ponto de vista econômico do agricultor.

2.1. O trator agrícola

O trator agrícola se caracteriza por ser uma máquina que possui meios que o apoiam sobre a superfície de deslocamento e lhe permitem tracionar, transportar ou fornecer potência mecânica para máquinas e implementos agrícolas (MIALHE, 1980).

Para ser caracterizado como trator agrícola, o veículo deve possuir bom vão livre vertical, bitola regulável, tomada de potência, sistema de levante hidráulico de três pontos e barra de tração. Estas características garantem grande versatilidade ao mesmo, permitindo sua utilização em uma variada gama de atividades, o que o torna a fonte de potência mais comum em propriedades tecnificadas, resultado de suas capacidades e benefícios. Porém, se o trator for mal projetado, ou utilizado de forma inadequada, podem ser gerados vários efeitos indesejados ao solo, ocasionar grandes emissões de gases na atmosfera, apresentar risco aos operadores e ser pouco eficiente no uso da energia.

Segundo Berasategui (2000), os tratores agrícolas podem ser considerados a base para realizar a agricultura moderna, pois a grande maioria das operações de campo é realizada com o auxílio desta máquina. Assim, devido a sua grande importância e utilização em jornadas longas de trabalho, é necessário oferecer boas condições aos trabalhadores que operam estas máquinas.

Os contínuos avanços científicos modificam constantemente a estrutura, capacidade, funções e ergonomia dos tratores, bem como, disponibilizam novas tecnologias de gerenciamento e de controle de desempenho aos operadores (MONTEIRO, 2011). Isso garante maior capacidade operacional, menores custos e melhor aproveitamento da mão de obra disponível.

Muitos fatores afetam as capacidades do operador do trator agrícola durante seu trabalho, sendo a vibração mecânica um deles, tendo como consequência a queda de rendimento e a qualidade na operação realizada (KROEMER e GRANDJEAN, 2005).

Mesmo com o crescimento do setor agrícola, ainda são produzidos no país tratores que não foram projetados para fornecer relações homem-máquina adequadas (adequação do posto operacional ao trabalhador), pois a otimização dos parâmetros operacionais e de desempenho ainda são os principais objetivos das empresas, o que acaba obrigando muitas vezes o operador a trabalhar exposto a condições inadequadas de clima, ruídos e vibrações. (SANTOS et al., 2014).

Devido a sua importância no meio agrícola, o trator deve passar por avaliações para garantir que os agricultores obtenham um produto de boa qualidade e que desempenhe suas funções com a maior eficiência possível.

2.2. Vibrações em tratores agrícolas

As vibrações ocorrem em todos os sistemas mecânicos em maior ou menor intensidade, não sendo possível eliminá-las, apenas diminuir seus efeitos através da adição de componentes que permitam controlar ou isolar estes fenômenos, deixando-os em níveis aceitáveis (BACK, 1983).

As oscilações mecânicas regulares e irregulares de um corpo que ocorrem em torno de um ponto comum são chamadas de vibrações (SELL, 2002).

Saliba et al. (2002), descrevem as vibrações como oscilações no movimento de um corpo devido as forças geradas por movimentos alternados em máquinas e equipamentos.

Para Franchini (2007), o movimento de deslocamento oscilatório e periódico de um corpo durante certo tempo é caracterizado como vibração, possuindo uma velocidade, uma aceleração e uma frequência, o que acaba gerando um número de ciclos completos por unidade de tempo (Figura 1).

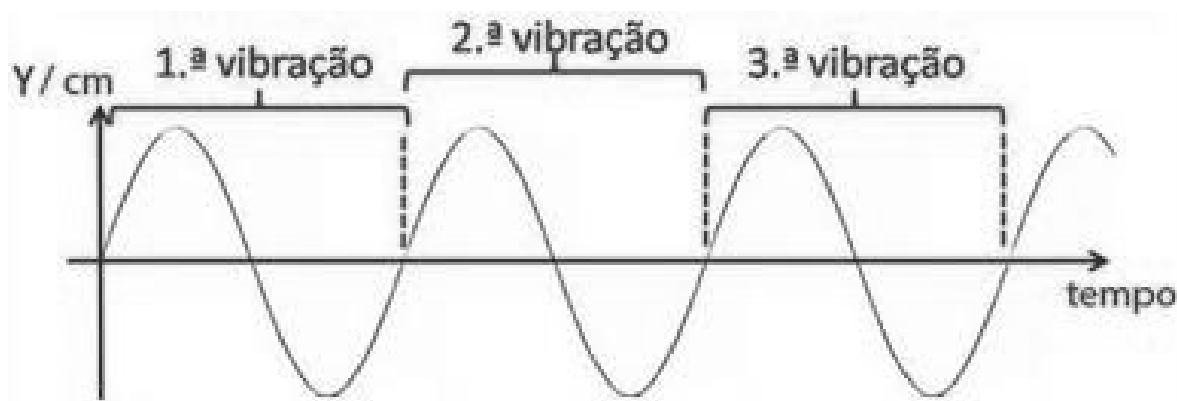


Figura 1. Ciclos de vibrações ao longo do tempo. Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_05.html. Acesso em: 16 de agosto de 2015.

Segundo Rao (2008), vibração ou oscilação é qualquer movimento que se repete após um intervalo de tempo, consistindo em um sistema com um meio para armazenar energia potencial, um meio para armazenar energia cinética e um meio de perda gradual de energia.

Para Rao (2008) a energia vibracional pode ser convertida em calor ou som em um fenômeno conhecido como amortecimento. Assim, uma das principais estratégias para reduzir a ação das vibrações sobre o corpo humano e permitir a preservação da saúde, conforto e eficiência de trabalho, é o desenvolvimento e adoção de componentes e estruturas cada vez mais capazes de proteger o operador da máquina das vibrações emitidas pela mesma através da dissipação da energia vibracional que chega até o posto de operação.

Segundo Tosin (2009), as vibrações são fatores diretos que causam doenças que levam ao afastamento do trabalhador, apresentando também grande influência na qualidade final das operações agrícolas que utilizam máquinas para sua realização.

Os efeitos das vibrações sobre o corpo humano podem atingir graus muito graves, como por exemplo, danos permanentes a órgãos internos, perda de equilíbrio, visão turva e falta de concentração. (GERGES, 2000).

Segundo a Norma ISO 2631 (1978), o corpo humano pode receber as vibrações de três formas diferentes, atingindo o corpo inteiro ou partes substanciais do mesmo, vibrações transmitidas através de superfícies de sustentação (pés, nádegas e costas), e por fim, as que atingem partes específicas do corpo (mãos, cabeça e perna). Nos tratores agrícolas, o operador recebe as vibrações através do assento, do piso, dos comandos manuais e dos pedais.

Para Tosin (2009), a sensibilidade do corpo às vibrações longitudinais (eixo z) e transversais (eixos x e y) é diferente, sendo a maior sensibilidade nos eixos x e y em baixas frequências.

Na Norma ISO 8041 (2005), são apresentadas as curvas de ponderação para as diferentes partes do corpo humano que podem ser empregadas na avaliação ocupacional em inúmeras atividades de trabalho.

As vibrações mecânicas originadas tanto no funcionamento da máquina quanto pela rugosidade da superfície de deslocamento se tornam problemáticas quando a frequência de partes do corpo humano (por exemplo, o tronco vibra a uma frequência de 4 a 8 Hz), acaba se aproximando a do trator (1-7 Hz), o que pode elevar as chances de problemas de saúde no operador (ZEHS AZ et al., 2011).

Para Vendrame (2006), quando as vibrações naturais do corpo humano coincidem com a frequência da vibração externa, ocorre a ressonância e, por consequência, a ampliação do movimento, sendo a energia vibratória absorvida pelo corpo podendo levar a danos aos tecidos. Na Figura 2 são apresentadas as diferentes frequências de vibrações de cada parte do corpo humano.

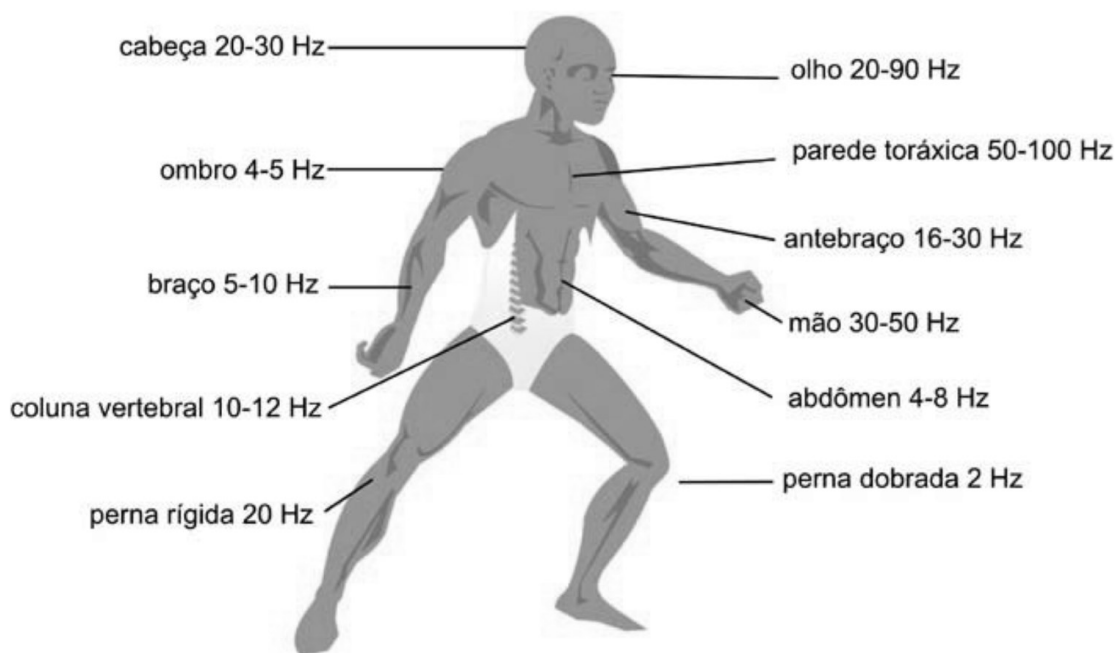


Figura 2. Vibrações naturais de diferentes partes do corpo humano. Fonte: Vendrame, (2006).

Segundo Kroemer e Grandjean (2005), as vibrações afetam a percepção visual, o desempenho psicomotor e muscular, bem como de forma mais amena, os sistemas circulatório, respiratório e nervoso, ou seja, a vibração pode prejudicar a percepção visual, o processo mental da informação, a capacidade motora e de precisão. Estes mesmos autores apontam que em todos os testes de direção em que foram simulados os efeitos psicofisiológicos das vibrações, a eficiência na direção foi prejudicada por vibrações na faixa de 4 Hz, onde os efeitos negativos crescem com o aumento da aceleração, sendo que os erros de direção aumentam quando o operador está sujeito a acelerações na ordem de $0,5 \text{ m s}^{-2}$, tornando impossível guiar com segurança quando as acelerações atingem $2,5 \text{ m s}^{-2}$ (Figura 3).

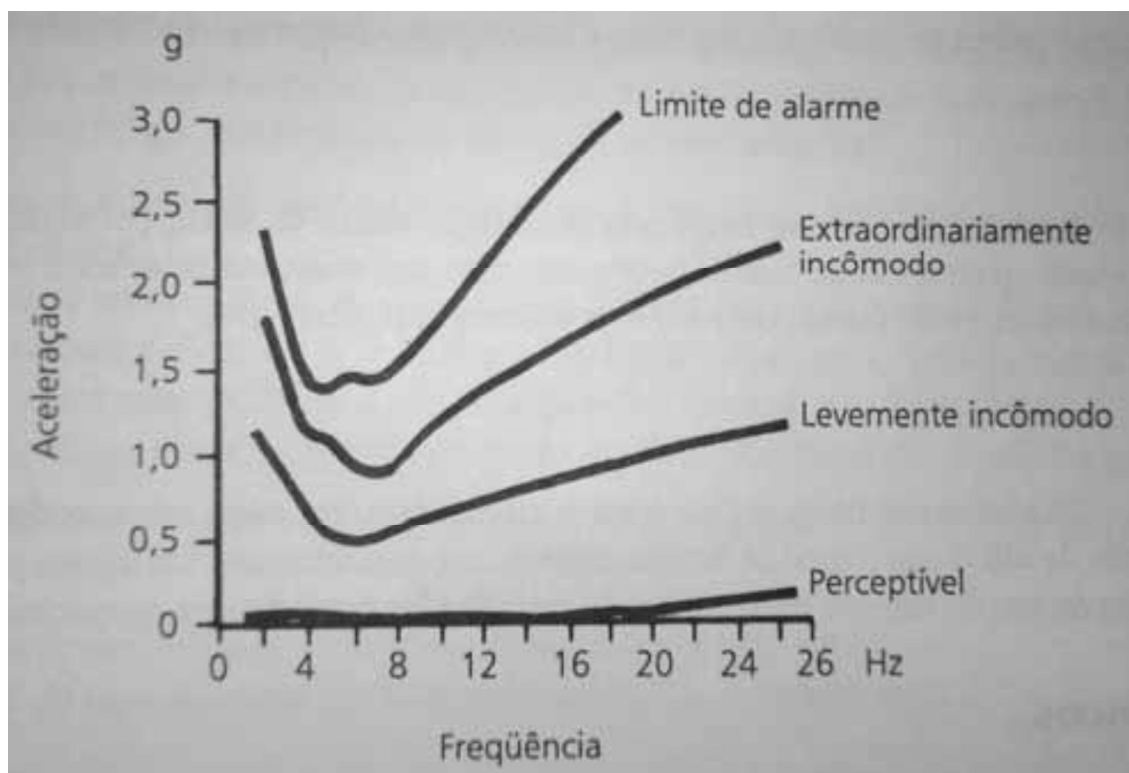


Figura 3. Efeito do nível de vibração sobre o ser humano. Fonte: Chaney, (1964).

Para Kroemer e Grandjean (2005), a exposição periódica de uma pessoa às vibrações no posto de trabalho pode levar a lesões que afetem os órgãos internos com intensidades diferentes de acordo com a parte do corpo afetada e com o nível de intensidade de vibração. Muitos desses problemas podem ser evitados através de levantamentos de dados das condições de trabalho e pela adoção de valores limites para os níveis de exposição.

Na Norma ISO 2631 (1978), são definidos três limites de exposição do corpo humano às vibrações buscando estabelecer os níveis de conforto, eficiência de trabalho e risco a saúde, sendo eles: nível de conforto reduzido (preservação do conforto), nível de eficiência reduzida/fadiga (preservação da eficiência de trabalho) e limite de exposição (preservação da saúde e/ou segurança). Os valores utilizados pelas normas são obtidos através de trabalhos que buscam mensurar o efeito das vibrações sobre o corpo humano.

O limite de fadiga indica um nível de vibração que, ao ser excedido, pode afetar a eficiência de trabalho em muitos tipos de atividades, principalmente naquelas que apresentam durações mais longas, o que pode piorar a qualidade do trabalho. Muitos fatores podem afetar a real interferência da fadiga sobre o trabalhador; porém, os limites

recomendados pela norma mostram o nível geral no qual a interferência se inicia com a dependência da frequência e do tempo (ISO 2631, 1978).

Segundo a Norma ISO 2631 (1978), o ser humano apresenta maior sensibilidade quando os valores se encontram entre 4 e 8 Hz para vibração longitudinal (a_z) e abaixo de 2 Hz para vibração transversal (a_x , a_y), sendo que a tolerância diminui em função do tempo de exposição. Também é importante ressaltar que enquanto a tolerância para vibração transversal é menor do que para vibração longitudinal em frequências muito baixas, sendo que o inverso ocorre para frequências mais altas (acima de 2,8 Hz).

Em relação ao limite de exposição, o nível máximo é determinado para qualquer condição de frequência, duração e direção, multiplicando-se por dois os valores estabelecidos para o critério de nível de eficiência reduzida (fadiga). Somente é recomendável exceder o limite de exposição se houver justificativa especial e precauções para minimizar ao máximo os efeitos da vibração (ISO 2631, 1978). Por sua vez, o nível reduzido de conforto equivale a, aproximadamente, um terço dos níveis correspondentes do nível de eficiência reduzido (fadiga).

Segundo a Norma ISO 2631 (1978), estes limites são estabelecidos de acordo com os níveis de frequência vibratória, acelerações, tempo de exposição e direção da vibração em relação ao tronco (Tabelas 1 a 3 e Figuras 4 a 7). Cada um dos limites serve para diferentes propósitos, devendo-se empregar os mesmos de acordo com o objetivo da avaliação de cada projeto como, por exemplo, na avaliação do assento do operador de trator agrícola, assento de passageiros para ônibus e a empunhadura de uma ferramenta elétrica. A norma em questão também pede que as medições sejam feitas o mais próximo possível do ponto ou área na qual a vibração é transmitida ao corpo para se conhecer o seu nível real de ação.

No caso da vibração que incide sobre o corpo inteiro do operador os dados devem ser coletados utilizando-se um ponto de referência localizado sobre o assento. Segundo Nietiedt et al., (2012), utiliza-se o Ponto de Referência do Assento (SIP), definido pela Norma ISO 5353 (1999) para simular o operador sentado no posto de operação de uma máquina agrícola.

Tabela 1. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzido (fadiga)” para aceleração da vibração na direção longitudinal a_z . Fonte: ISO 2631, (1978).

Frequência (centro da banda de 1/3 de oitava)	Aceleração ($m s^{-2}$)								
	Tempo de Exposição								
	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1	0,28	0,425	0,63	1,06	1,4	2,36	3,55	4,25	5,6
1,25	0,25	0,375	0,56	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75	5
1,6	0,224	0,335	0,5	0,85	1,12	1,9	2,8	3,35	4,5
2	0,2	0,3	0,45	0,75	1	1,7	2,5	3	4
2,5	0,18	0,265	0,4	0,67	0,9	1,5	2,24	2,65	3,55
3,15	0,16	0,235	0,355	0,6	0,8	1,32	2	2,35	3,15
4	0,14	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
5	0,14	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
6,3	0,14	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
8	0,14	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
10	0,18	0,265	0,4	0,67	0,9	1,5	2,24	2,65	3,55
12,5	0,224	0,335	0,5	0,85	1,12	1,9	2,8	3,35	4,5
16	0,28	0,425	0,63	1,06	1,4	2,36	3,55	4,25	5,6
20	0,355	0,53	0,8	1,32	1,8	3	4,5	5,3	7,1
25	0,45	0,67	1	1,7	2,24	3,75	5,6	6,7	9
31,5	0,56	0,85	1,25	2,12	2,8	4,75	7,1	8,5	11,2
40	0,71	1,06	1,6	2,65	3,55	6	9	10,6	14
50	0,9	1,32	2	3,35	4,5	7,5	11,2	13,2	18
63	1,12	1,7	2,5	4,25	5,6	9,5	14	17	22,4
80	1,4	2,12	3,15	5,3	7,1	11,8	18	21,2	28
Os valores acima definem o limite em termos de valor eficaz (RMS) da vibração de frequência simples (senoidal) ou valor eficaz na banda de um terço de oitava para a vibração distribuída.									

Tabela 2. Valores numéricos de “nível de eficiência reduzido (fadiga)” para aceleração da vibração na direção transversal a_x e a_y . Fonte: ISO 2631, (1978).

Frequência (centro da banda de 1/3 de oitava)	Aceleração ($m s^{-2}$)								
	Tempo de Exposição								
	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1	0,1	0,425	0,63	1,06	1,4	2,36	3,55	4,25	5,6
1,25	0,1	0,375	0,56	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75	5
1,6	0,1	0,335	0,5	0,85	1,12	1,9	2,8	3,35	4,5
2	0,1	0,3	0,45	0,75	1	1,7	2,5	3	4
2,5	0,125	0,265	0,4	0,67	0,9	1,5	2,24	2,65	3,55
3,15	0,16	0,235	0,355	0,6	0,8	1,32	2	2,35	3,15
4	0,2	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
5	0,25	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
6,3	0,315	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
8	0,4	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,8	2,12	2,8
10	0,5	0,265	0,4	0,67	0,9	1,5	2,24	2,65	3,55
12,5	0,63	0,335	0,5	0,85	1,12	1,9	2,8	3,35	4,5
16	0,8	0,425	0,63	1,06	1,4	2,36	3,55	4,25	5,6
20	1	0,53	0,8	1,32	1,8	3	4,5	5,3	7,1
25	1,25	0,67	1	1,7	2,24	3,75	5,6	6,7	9
31,5	1,6	0,85	1,25	2,12	2,8	4,75	7,1	8,5	11,2
40	2	1,06	1,6	2,65	3,55	6	9	10,6	14
50	2,5	1,32	2	3,35	4,5	7,5	11,2	13,2	18
63	3,15	1,7	2,5	4,25	5,6	9,5	14	17	22,4
80	4	2,12	3,15	5,3	7,1	11,8	18	21,2	28

Tabela 3. Fatores de avaliação relativos à banda de frequência de sensibilidade (4 a 8 Hz no caso de vibração $\pm a_z$ 1 a 2 Hz no caso de vibração $\pm a_y$ ou $\pm a_x$) de aceleração máxima para as curvas de respostas das figuras 3 e 5. Fonte: ISO 2631, (1978).

Frequência [Hz] (frequência central de banda de um terço de oitava)	Fator de Ponderação	
	Vibrações longitudinais (Figura 3)	Vibrações Transversais (Figura 5)
1.0	0.50 = - 6 dB	1.00 = 0 dB
1,25	0,56 = - 5 dB	1,00 = 0 dB
1.6	0,63 = - 4 dB	1,0 = 0 dB
2,0	0,71 = - 3 dB	1,0 = 0 dB
2,5	0,60 = - 2 dB	0,80 = - 2 dB
3.15	0.90 = -1 dB	0.63 = - 4 dB
4,0	1,00 = 0 dB	0,5 = - 6 dB
5.0	1,00 = 0 dB	0,4 = - 8 dB
6,3	1.00 = 0 dB	0,315 = - 10 dB
8.0	1,00 = 0 dB	0,25 = - 12 dB
10,0	0,80 = - 2 dB	0,2 = - 14 dB
12,5	0.63 = - 4 dB	0,16 = - 16 dB
16,0	0.50 = - 6 dB	0,125 = - 18 dB
20,0	0,40 = - 8 dB	0,1 = - 20 dB
25,0	0,315 = - 10 dB	0.08 = - 22 dB
31,5	0,25 = - 12 dB	0.063 = - 24 dB
40.0	0.20 = - 14 dB	0.05 = - 26 dB
50,0	0,16 = - 16 dB	0,04 = - 8 dB
63.0	0.125 = - 18 dB	0,0315 = - 30 dB
80.0	0.10 = - 20 dB	0,025 = - 32 dB

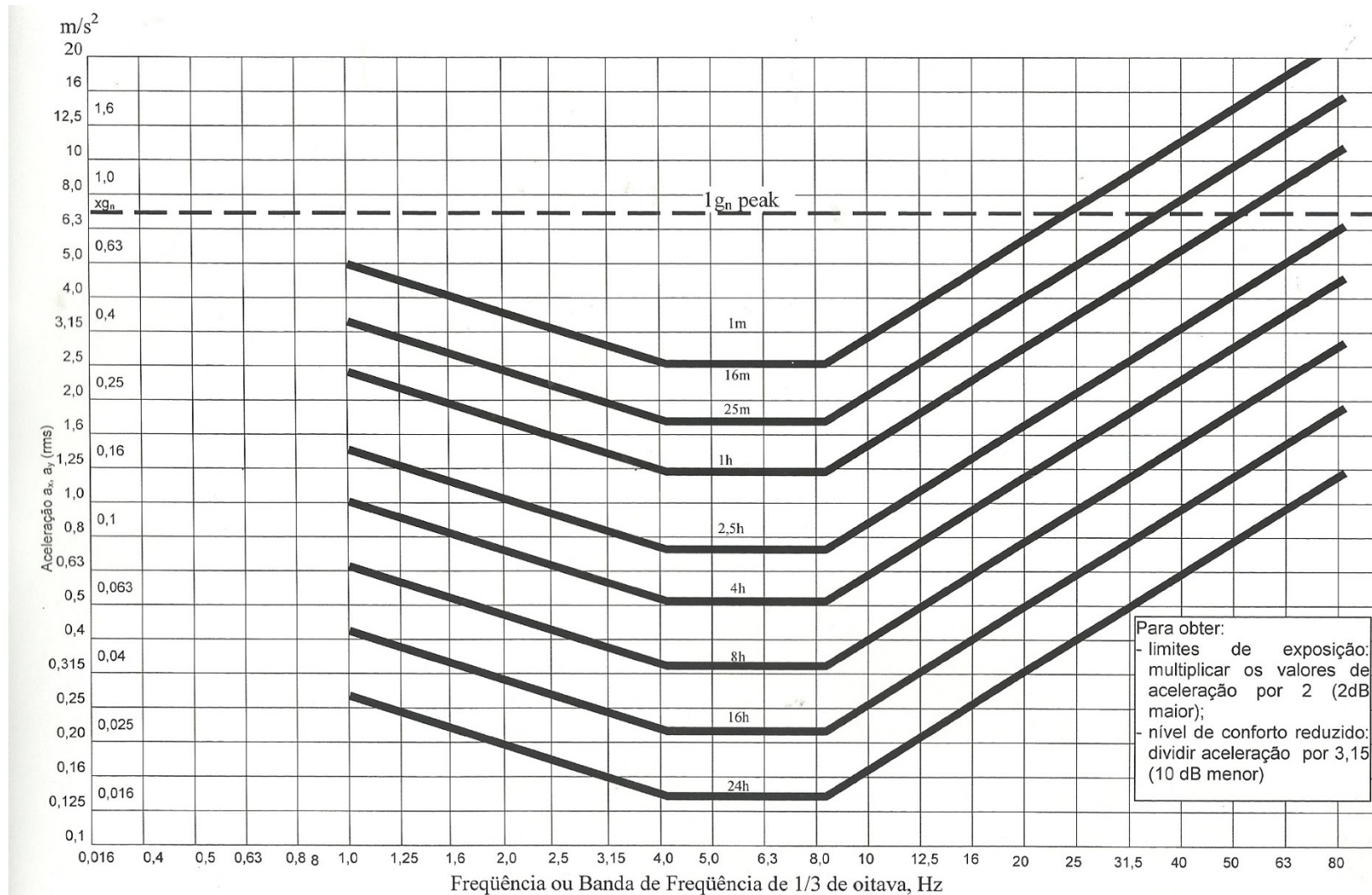


Figura 4. Limite de aceleração longitudinal (a_z) como função da frequência e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).
Fonte: ISO 2631, (1978).

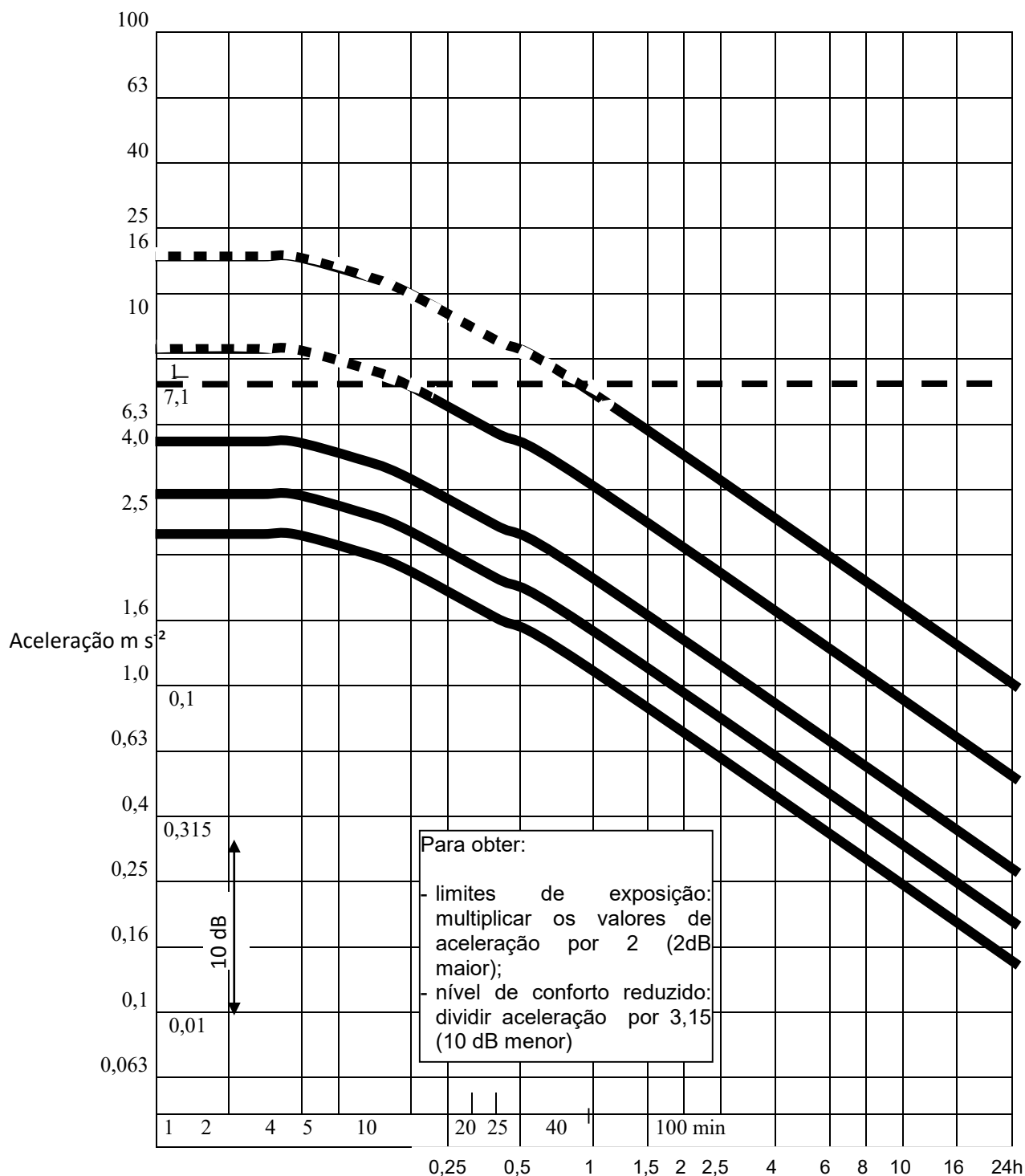


Figura 5. Limite de aceleração longitudinal (a_z) como função da frequência (para banda de 1/3 de oitava) e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).
Fonte: ISO 2631, (1978).

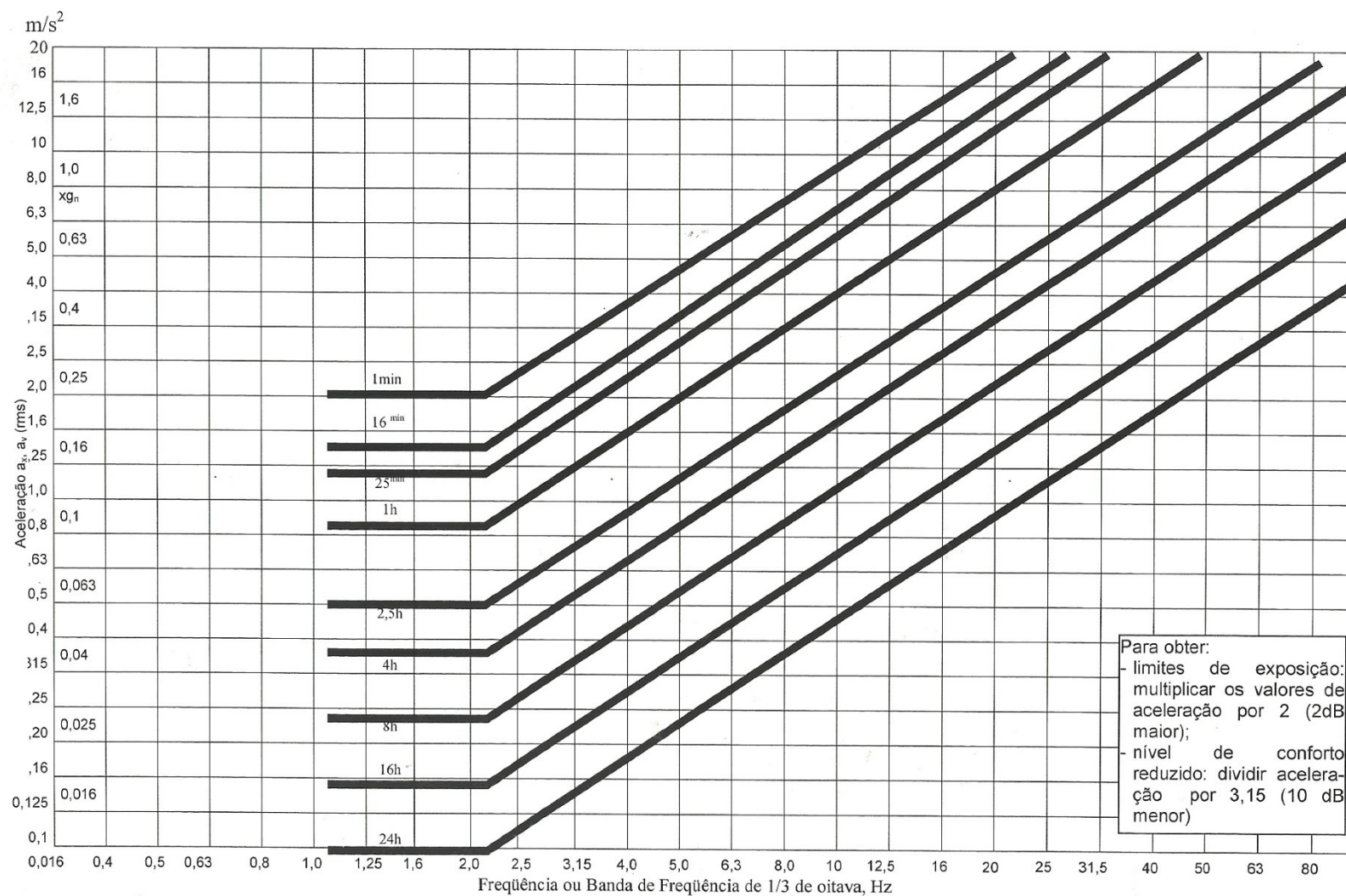


Figura 3a - Limite de aceleração transversal (a_x e a_y) como função da frequência e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga).

Figura 6. Limite de aceleração transversal (a_x e a_y) como função da frequência e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga). Fonte: ISO 2631, (1978).

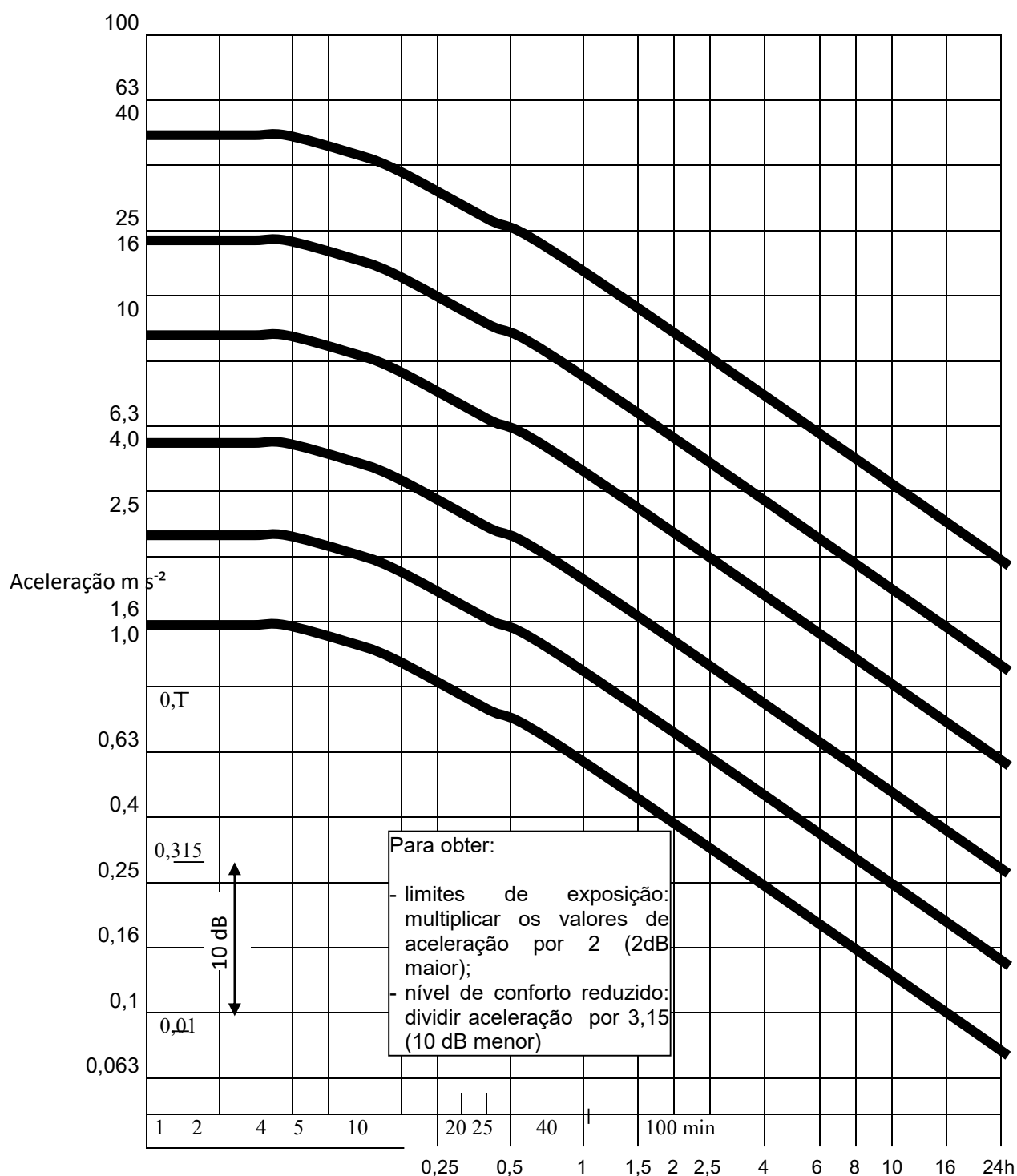


Figura 7. Limite de aceleração transversal (a_x e a_y) como função da frequência (para banda de 1/3 de oitava) e tempo de exposição para nível reduzido de eficiência (fadiga). Fonte: ISO 2631, (1978).

Mehta et al. (2000), realizaram um trabalho buscando verificar os níveis de vibrações em tratores agrícolas, nele foram medidos níveis de vibrações nos eixos

longitudinal, transversal e vertical na interface assento-operador, em diferentes condições de operação. Os níveis de vibrações obtidos foram avaliados de acordo com a Norma ISO 2631-1 (1985), sendo obtida a conclusão que os operadores de tratores agrícolas estão expostos a diversas desordens na coluna vertebral causadas pela vibração.

Lanças et al. (2009), em um experimento variando a potência do trator, a pista de deslocamento, a pressão de inflação dos pneus e a velocidade média de deslocamento obteve resultados que indicam que o aumento da velocidade de deslocamento também eleva os níveis de vibração transmitida ao operador. Zehsaz et al. (2011), também encontraram relações positivas entre o aumento da velocidade de deslocamento e das vibrações no posto operacional.

2.3. Pneus e distribuição de massas de tratores agrícolas

Durante a operação, o trator se desloca sobre superfícies com variados níveis de rugosidade. Dhingra et al. (2003), indicaram que, além das vibrações emitidas pelo motor, é de fundamental importância considerar a influência das vibrações oriundas do movimento do trator pela superfície de deslocamento.

Além de serem os responsáveis por transmitir a força do motor para a superfície de deslocamento gerando o movimento, o sistema de rodados também deve permitir frenagens seguras, apresentar a capacidade de suportar o peso do trator (tanto em condição estática quanto dinâmica), e agir como um sistema de amortecimento dos impactos provocados pelas irregularidades do solo (MIALHE, 1980).

Os pneus de tratores agrícolas possuem um corpo em forma de tubo circular (construído com borracha vulcanizada) que, ao ser inflado com determinada pressão, resiste às ações estáticas e dinâmicas impostas sobre si (NAGAOKA, 2001). O pneu pode ser construído de diferentes formas, cada uma possuindo diferentes desempenhos e comportamentos.

O comportamento e capacidade de tração dos rodados pneumáticos de tratores agrícolas são determinados principalmente pela sua pressão de inflação, seu tamanho, transferência de peso, a força aplicada nos eixos e da fonte de potência (NAGAOKA et al., 2002).

Para Lanças (1997), é fundamental levar em conta, além do tipo do rodado, as forças atuantes sobre o mesmo, as deformações, as interações existentes entre o

solo e o rodado, o tipo e as condições do solo (textura, cobertura vegetal, compactação, umidade).

Upadhyaya e Wulfsohn (1989) concluíram que o tipo e as condições do solo são fatores mais determinantes na durabilidade e desempenho dos pneus de tratores agrícolas do que o tipo de construção dos mesmos. Assim, a correta seleção e regulagem deste sistema para cada situação encontrada no campo são fundamentais para permitir a obtenção de um bom desempenho da máquina. A junção destas características irá determinar o comportamento do pneu sobre a superfície de rolamento, ocasionando maior ou menor amortecimento dos impactos e de sua capacidade de realizar trabalho.

Por exemplo, um importante fator que determina o comportamento do rodado é a patinagem, que se caracteriza por ser o deslizamento existente entre a superfície da banda de rodagem e a superfície de rolagem (GAMERO e LANÇAS, 1996).

O estudo do efeito das pressões sobre a incidência de vibrações é importante porque, segundo Ferreira et al. (2006), foi constatado que entre 125 tratores agrícolas (74 usados e 51 novos), 8,33 % dos tratores 4x2 TDA usados estavam com a pressão de inflação recomendada pelo fabricante, 52,78 % abaixo e 38,89 % acima, sendo que a menor pressão encontrada foi de 48,3 kPa e a maior foi de 227,5 kPa.

Estudos realizados por Hilbert et al. (2004), baseados na Norma IRAM 4078/1, com um trator agrícola em pista indeformável, irregular e com buracos, utilizando quatro pressões de inflação (82,7; 110,3; 151,6 e 206,8 kPa) e três velocidades de trabalho (7; 12 e 20 km h⁻¹), demonstraram que as diferentes pressões influenciaram nos níveis das vibrações incidentes sobre o posto operacional.

Woycik et al. (2004), repetiram o mesmo trabalho realizado por Hilbert et al. (2004), empregando as mesmas pressões (82,7; 110,3; 151,6 e 206,8 kPa) e velocidades de trabalho (7; 12 e 20 km h⁻¹). Foi empregada a metodologia de acordo com a Norma IRAM 4078/1 e as medições foram realizadas nos três eixos x, y e z. Os ensaios foram feitos em dois locais diferentes: o primeiro local, pavimentado com todas as repetições feitas no mesmo traçado; o segundo local foi um campo natural, limpo e sem obstáculos naturais, com os traçados sendo distribuídos ao acaso para cada repetição. Os resultados demonstraram que, para os eixos x e y não foi encontrada diferença significativa por tipo de superfície e nem de velocidades, mas as diferentes pressões influenciaram os níveis de vibração. Para o eixo z, não foi encontrada diferença significativa entre os tratores, as superfícies, as velocidades de deslocamento e entre as pressões dos pneus.

Estudo realizado por Barceló et al. (2004), determinou as vibrações recebidas pelo operador de um trator agrícola através do assento, utilizando três velocidades de deslocamento (7; 12 e 20 km h⁻¹), três pressões de inflação dos pneus (69; 103 e 207 kPa) e duas regulagens do assento (máxima e mínima). A metodologia empregada também estava de acordo com a Norma IRAM 4078/1 e as medições foram realizadas nos três eixos x, y e z. O estudo foi conduzido em uma superfície com 300 metros de comprimento indeformável, irregular e com buracos. O assento utilizado foi da marca Grammer DS4/L10 08/95, com extremos de regulagem para a massa dos operadores de 50 a 85 kg. Os resultados apontaram que a melhor combinação entre a pressão de inflação, a regulagem adequada do assento para o peso do operador e velocidades baixas apresentaram valores de vibrações ocupacionais que estão dentro dos limites permitidos para trabalhos agrários comuns.

Franchini (2007), em experimento variando pressões de inflação dos pneus (179 kPa, 138 kPa e 96 kPa) e velocidades de deslocamento do trator (4,5 e 7,0 km h⁻¹), obteve resultados que demonstraram que a velocidade mais baixa e a maior pressão resultaram em melhor conforto, enquanto a velocidade mais alta tornou desconfortável a operação do trator. Schlosser et al. (2001), recomenda que a diminuição gradativa das pressões internas dos pneus dianteiros ajuda a evitar que o trator desenvolva o efeito de galope.

Outro fator muito importante para o bom desempenho do trator é a adequada relação entre o seu peso e a potência, que influi diretamente na capacidade operacional a campo (MÁRQUEZ, 1990). A correta lastragem garante menor consumo de combustível, menor desgaste dos componentes, principalmente dos rodados, e melhor comportamento dinâmico durante o desempenho das tarefas.

Cordeiro (1994) apontou que a relação entre peso e a potência de tratores agrícolas diminuiu com o tempo, embora os valores dos dois venham aumentando com o advento de novas tecnologias e capacidades.

Segundo Schlosser et al. (2005), são empregadas relações peso/potência de aproximadamente 50 kg cv⁻¹ para realização de atividades leves, que permitam maiores velocidades e necessitem de maior potência na barra de tração, e de 60 kg cv⁻¹ para atividades mais pesadas, que demandem menores velocidades e maior exigência de força de tração. Para adequar o peso e a distribuição de massa, deve-se regular o peso do trator com a adição ou remoção dos lastros líquidos e/ou sólidos do trator, buscando adequá-lo à necessidade da tarefa a ser desempenhada. Estes fatores influenciam diretamente no

nível de vibração a que o operador é submetido durante o deslocamento do trator por alterarem o centro de gravidade do mesmo e, por consequência, seu comportamento.

2.4. Posto operacional de tratores agrícolas

Segundo Rozin (2004), o posto operacional de tratores agrícolas vem evoluindo constantemente com a adoção de novas tecnologias, melhora da ergonomia e também da distribuição dos itens de comando, resultando em maior conforto e segurança ao operador. Essas alterações devem ser feitas de acordo com as características de cada máquina oferecida ao mercado e pela demanda dos consumidores.

O posto operacional do trator agrícola deve ser projetado buscando aliar fatores como dirigibilidade, visibilidade, conforto, arranjo dos controles, facilidade de acesso, segurança e confortos sonoro, contra vibrações e térmico, além de proteção contra intempéries, poeira e detritos (YADAV e TEWARI, 1998). Estas características são muito importantes na agricultura, principalmente nas longas jornadas de trabalho que são comuns durante as atividades que possuem pequenas janelas para serem realizadas, como, por exemplo, plantio/semear e colheita.

Para Yadav e Tewari (1998), todo o posto operacional deve ser projetado para acomodar 90% da população com possibilidades de conduzir tratores agrícolas, principalmente em relação ao assento do trator e a posição dos comandos de operação de mãos e pés.

Quando o posto operacional apresenta boas condições ergonômicas o operador é exposto a menores cargas mentais e físicas, o que resulta em maior eficiência e rendimento, além de reduzir a ocorrência de erros, acidentes e o desenvolvimento de doenças ocupacionais (YADAV e TEWARI, 1998). Essas melhorias são alcançadas através da realização de análises ergonômicas do posto operacional.

Entre as diferentes avaliações, está a determinação do nível de vibração que chega ao operador pelos pontos de apoio e comandos. Segundo a Norma ISO 2631 (1978), as medições das vibrações retilíneas transmitidas ao homem devem ser feitas levando-se em conta as direções apropriadas em um sistema coordenado ortogonal que tem como ponto de origem a localização do coração (Figura 8).

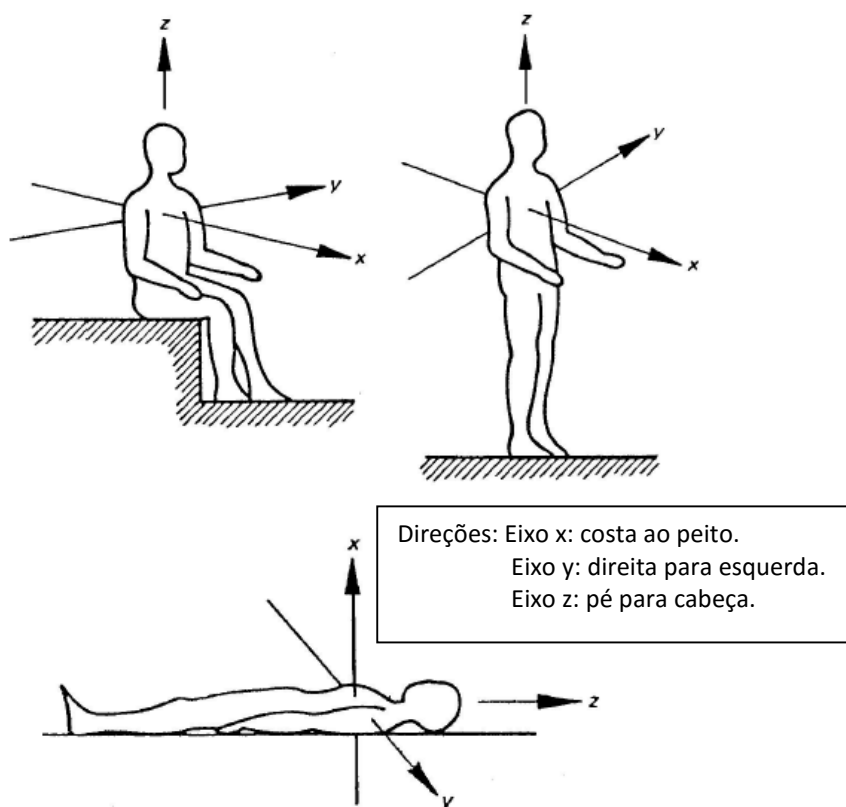


Figura 8. Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos. Fonte: adaptado de ISO 2631, (1978).

Para Santos (2002), várias medidas vêm sendo adotadas para amortecer ou amenizar a vibrações de baixa frequência, e reduzir os efeitos maléficos da exposição do operador as mesmas, principalmente através da implantação de sistemas de suspensões mais eficientes no posto operacional.

Vários componentes do trator influenciam na transmissão e nível das vibrações, tais como os pneus, coxins, amortecedores, posição e ajuste do assento (ROTH, 2010). Cada um destes componentes dos tratores agrícolas possui diferentes mecanismos de ação e atuam de formas diferentes na atenuação das vibrações que ocorrem durante sua operação.

As pesquisas, os avanços em engenharia e materiais permitem o desenvolvimento e adoção de novos componentes ou estruturas pelos fabricantes que melhoram o produto oferecido ao agricultor. Muitos pesquisadores desenvolveram sistemas de suspensão experimentais para cabines de tratores agrícolas na década de 1970 (ZEHS AZ, 2011). Estas pesquisas resultaram no desenvolvimento ou adoção de componentes que contribuíram para diminuir a incidência de vibrações sobre o operador.

Adaichi et al. (1996), obtiveram sucesso na redução das vibrações e ruídos na cabine do trator através da adoção de amortecedores. Por sua vez, Tamboli e Joshi (1999), obtiveram os valores de rigidez e coeficiente de amortecimento das suspensões traseiras através da minimização da RMSAR (*Root Mean Square - Acceleration Response*), utilizando o limite desejado de valores para a RMSAR vertical, conforme especificado na ISO 2631-1 (1985).

Para Prasad et al. (1995), pode-se obter reduções no nível de vibração através da adoção de suspensões nas rodas; porém, estes são sistemas caros e complexos.

Ainda em alguns países, devido às razões econômicas, um trator sem suspensões nas cabines e assentos tem maior demanda, fazendo com que os fabricantes decidam por disponibilizar apenas o isolamento da cabine contra poeira e água em seus produtos (ZEHS AZ et al., 2011).

Assim, o assento do operador acaba sendo o componente mais viável economicamente para diminuir os efeitos das vibrações que incidem sobre o operador. Porém, parte da vibração que chega ao posto operacional e atinge o operador é transmitida a este através do assento, sendo as vibrações com direção vertical transmitida pelo mesmo a principal causa de problemas de saúde (FRANCHINI, 2007).

Schrottmaier e Nadlinger (2000), em experimento com três tratores agrícolas (com suspensões no eixo dianteiro, cabine e assento) buscaram determinar as características de vibração em diferentes pontos (assento, ponto de montagem do banco, quadro, eixo dianteiro e eixo traseiro) para mensurar o conforto e a segurança em diferentes velocidades de deslocamento, pressões de inflação, implementos e tipos de superfícies de deslocamento. Estes autores alcançaram reduções de até 50% nas vibrações consideradas insalubres, melhora no conforto, na dirigibilidade e na frenagem através da otimização da regulagem da suspensão dianteira e do assento.

Silva (2011), indica que os assentos contribuíram de forma significativa para a mudança comportamental através do fornecimento de melhor estabilidade do corpo; porém, isso gerou problemas ergonômicos para a disposição dos comandos. Devido ao grande número de funções desempenhadas pelo trator, este possui muitos comandos para serem distribuídos de forma organizada no posto operacional, que devem permitir ao operador acioná-los rapidamente e com facilidade, ao mesmo tempo em que monitora o deslocamento da máquina e o trabalho realizado.

Becker (2006) relata a importância de novos projetos de assentos que permitam minimizar os esforços e o estresse do operador durante as operações agrícolas, sendo a massa do trator um dos fatores mais importantes em relação as vibrações transmitidas por este componente.

Segundo Barceló (2004), o assento permite reduzir o efeito das vibrações que chegam ao posto operacional, principalmente através de suas regulagens; porém, quanto mais rápida for a velocidade de deslocamento, menor a eficiência deste componente em diminuir a ação das vibrações.

Para Prasad et al. (1995), o assento realiza a importante função de diminuir as forças excessivas transmitidas ao posto operacional que causam danos fisiológicos ao corpo humano. Dessa forma, avaliações devem ser feitas para assegurar que este componente realmente esteja desempenhando bem o seu papel.

Os assentos possuem características dinâmicas e estáticas que alteram o modo de avaliação do conforto, quando a magnitude das vibrações é baixa a avaliação é realizada a partir das características estáticas, e quando altas o desconforto é fortemente influenciado pela vibração, fazendo com que a avaliação seja feita sob as características dinâmicas; assim, para predição do desconforto do assento é necessário realizar as duas avaliações (EBE e GRIFFIN, 1994).

Sell (2002), aponta que a adequação do assento ao posto operacional deve ser feita buscando permitir que o operador possa trabalhar confortavelmente na posição sentada. Todas as medidas que permitam ao trabalhador desempenhar sua função com menores esforços físicos e desconforto garantem melhor produtividade e qualidade final na operação.

O assento deve ter como importante característica permitir que o operador assuma a postura corporal correta durante toda a operação com a máquina. Dhingra et al. (2003), apontam que o desconforto do assento é a principal causa de problemas de coluna ocorridos entre operadores de tratores, embora de acordo com a ISO 2631 (1997), o assento do trator desempenhe um papel fundamental na postura operador, no isolamento de vibração e na melhora do conforto muitos testes ainda são realizados de acordo com a Norma ISO 2631-1 (1985), não sendo feitas medições no assento do trator, pois esta norma não indica mensurações neste componente (ZEHS AZ et al., 2011).

Fernandes et al. (2003), realizaram um estudo sobre vibração no assento do operador de tratores agrícolas, caracterizando-a por faixas de frequência. Os

resultados apontaram que a faixa de frequência que apresentou maiores picos de vibração vertical foi entre 2 e 4 Hz e os valores de aceleração ponderada global, na faixa de $1,727 \text{ m s}^{-2}$ à $2,638 \text{ m s}^{-2}$, valores bem acima dos limites definidos pela Norma ISO 2631 (1997), para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias.

Por sua vez, Santos Filho et al. (2003), pesquisaram os níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola e na base do assento gerados durante a operação de gradagem empregando diferentes velocidades de trabalho. Estes autores concluíram que os níveis de aceleração encontrados na parte superior do assento foram inferiores aos níveis da base para todas as velocidades, sendo que a marcha mais veloz foi a que apresentou maiores níveis de vibração, a faixa de frequência que resultou nos maiores picos de vibração vertical ficou situada entre 2 e 4 Hz; os valores de aceleração ponderada global encontraram-se bem acima dos limites definidos pela Norma ISO 2631-1 (1997) para 8 horas de trabalho diário e o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto ocasionou o aumento dos níveis de vibração.

2.5. Legislações e normas sobre vibrações em operadores de tratores agrícolas

Na década de 70 do século XX, com a crescente preocupação sobre os problemas de coluna nas diferentes profissões, gerou-se a necessidade de pesquisas para entender a relação entre a exposição às vibrações ocupacionais e os problemas na coluna vertebral (FRANCHINI, 2007). Ainda na década de 70 começaram a surgir as primeiras normas abordando esse tema.

Em 1974 foi publicada e disponibilizada a primeira versão da ISO 2631, sendo posteriormente reimpressa com mudanças e melhorias em 1978, 1982, 1985, 1997 e 2010. Segundo estas normas, deve-se medir a vibração na estrutura ou ponto pelo qual a mesma será transmitida ao corpo inteiro.

Em 1982 uma emenda foi adicionada a Norma ISO 2631 (1978), definindo o valor ponderado global de vibração através da combinação dos três eixos x, y e z (FRANCHINI, 2007).

Porém, a partir de 1997, a ISO 2631 não apresenta mais os valores limites de exposição, substituídos pelos cálculos de valor da dose de vibração e do valor da dose de vibração estimado (ANFLOR, 2003).

Kumar et al. (2001), utilizaram um modelo matemático para determinar a exposição do operador às vibrações, para medir e avaliar o nível das mesmas em todo o corpo durante operações em diferentes terrenos, avaliando se os operadores de tratores agrícolas estão submetidos a maiores riscos de danos na coluna do que outros trabalhadores por meio da comparação de Ressonância Magnética e Dados de imagem. Os resultados apontaram que os limites de exposição de 8 horas, indicados na Norma ISO 2631-1 (1985), foram excedidos em todas as condições.

Segundo Griffin (1998), até o fim da década de 1980 as pesquisas relacionadas a vibrações ocupacionais em tratores agrícolas ficaram restritas a poucos centros devido à limitação tecnológica e de custos dos equipamentos empregados, o que limitava a realização de ensaios. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, com melhor capacidade e menor custo, as pesquisas relacionadas a este tema ganharam impulso no mundo todo, gerando informações que embasaram medidas para e fiscalizar e melhorar as condições de trabalho em relação as vibrações que incidem sobre os trabalhadores em diferentes atividades.

No Brasil, as Normas Regulamentadoras - NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, abordam os aspectos relacionados à insalubridade das atividades trabalhistas. A Norma Regulamentadora nº 15 (NR 15), estabelece os limites de tolerância para cada atividade de acordo com a concentração ou intensidade de exposição do trabalhador ao agente nocivo. Porém, esta norma não se refere a limites de exposição à vibração, o que leva a adoção das normas internacionais para realização dos ensaios, dentre elas a ISO 2631 e a diretiva 2002/44/CE da Comunidade Europeia que estipulam níveis de ação e limites de exposição humana a vibrações do corpo inteiro (SANTOS, 2014).

Em relação às vibrações, a Norma NR 15 (1978), atualizada em 2014, relata que as atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, devem ser caracterizadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho, que usará como valores base os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para a Padronização em suas Normas ISO 2631 e ISO/DIS 5349 ou suas substitutas. Segundo o Anexo 8 (redação dada pela Portaria NTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014) da NR 15 (1978), a vibração caracteriza a condição de insalubridade no trabalho e determina uma remuneração adicional de 20% sobre o salário mínimo da região quando os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e de valor de dose de vibração resultante (VDVR) se

encontram acima de $1,1 \text{ m s}^{-2}$ e $21,0 \text{ m s}^{-2}$, respectivamente, cabendo ao empregador comprovar a avaliação dos dois parâmetros.

Existe na Legislação Nacional a Norma Regulamentadora nº 31 (NR 31) de 2005, que define as responsabilidades, ações e direitos dos trabalhadores, empregadores e órgãos fiscalizadores em relação as atividades trabalhistas desempenhadas no meio rural. Esta norma tem como objetivo estabelecer os preceitos a serem observados e seguidos na organização e no ambiente de trabalho para tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento das atividades agrícolas com a segurança e saúde no ambiente de trabalho.

No Brasil também existem as Normas de Higiene Ocupacional (NHO) elaborada pela Coordenação de Higiene do Trabalho da Fundacentro, que através da NHO 09 regulamenta a avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro, e NHO 10 que regulamenta a avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços, sendo objetivo de ambas o estabelecimento de critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI) e de mãos e braços que impliquem na possibilidade de ocorrência de diversos problemas à saúde do trabalhador relacionados a vibrações, como danos a coluna vertebral e ocorrência da síndrome da vibração em mãos e braços (SVMB).

A NHO 09 (2013) está baseada nas Normas ISO 2631-1 (1997) – *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements* e ISO 8041 (2005) – *Human response to vibration – Measuring instrumentation*, para estabelecer os aspectos técnicos das definições dos parâmetros (por exemplo os fatores de ponderação para os eixos, Figura 9), critérios e procedimentos e formas de avaliação, sistemas de medição, determinação dos valores, interpretação dos resultados.

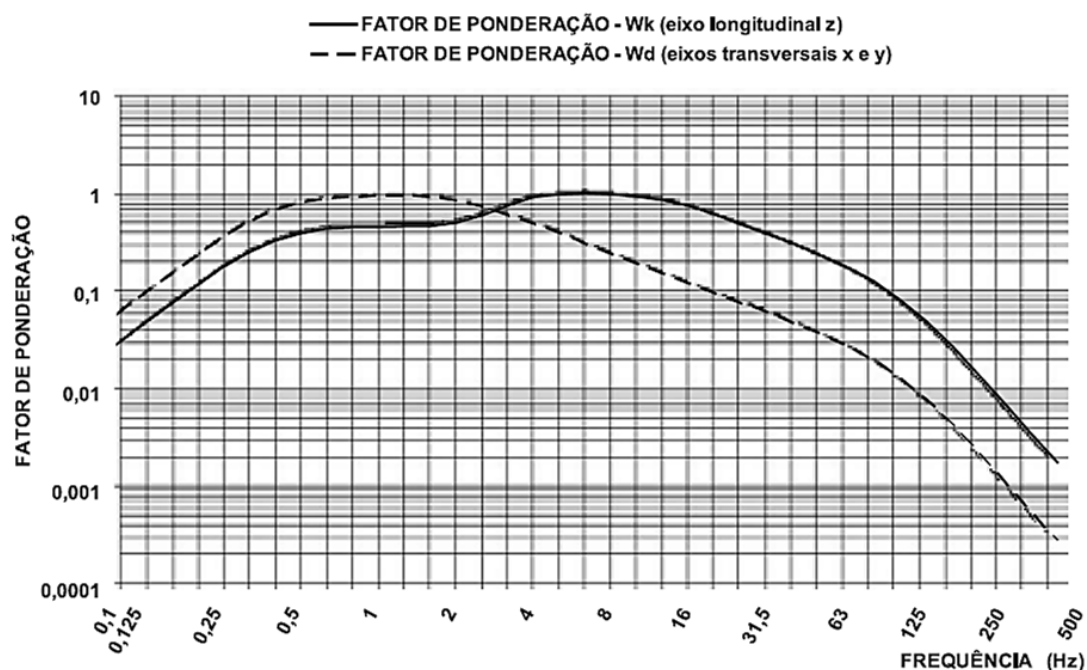


Figura 9. Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida. Fonte: Norma de Higiene Ocupacional 09 – NHO 09 (2013).

O fator de crista é um parâmetro complementar para avaliação da vibração, sendo obtido através do produto do valor de pico máximo pela aceleração média e representa um parâmetro de avaliação da vibração, pois segundo a Norma NHO 09 (2013) deve-se determinar o mesmo em todos os ensaios, uma vez que o valor da dose de vibração é tratado na literatura técnica como uma forma complementar de representação da exposição ocupacional quando ocorrem picos no sinal de vibração, sendo que este cenário fica caracterizado quando o fator de crista (FC) apresentar valores superiores a nove ($fc > 9,0$). Quando os valores forem maiores que nove, é muito importante que o valor de dose de vibração seja empregado para avaliação da exposição ocupacional do trabalhador.

Tratando-se especificamente das vibrações sobre operadores de tratores agrícolas, a primeira norma nacional a abordar este aspecto foi a NBR 12319/1992 – Medição da Vibração Transmitida ao Operador – Tratores Agrícolas de Rodas e Máquinas Agrícolas (Baseada na ISO 5008 - Agricultural Wheeled Tractors and Field Machinery – Measurement of Whole Body Vibration of the Operator), elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Comissão de Estudo de Segurança e Ergonomia do Comitê Brasileiro de Agricultura, Pecuária e Implementos (FRANCHINI, 2007).

A NBR 12319/1992 descreve os métodos para medir e registrar os níveis de vibração que atingem o operador de tratores agrícolas de rodas ou de outras máquinas agrícolas através de seu assento e apoio dos pés, sendo normatizadas também as condições de operação da máquina e as características da pista artificial opcional de ensaios. As análises são feitas de acordo com a Norma ISO 2631. Existem modelos de máquinas para os quais a norma não está adequada, tais como tratores de rabiças, tratores triciclos, tratores de encosta, tratores vinícolas, etc. Apesar da crescente demanda por pesquisas nesta área, em 2012 a NBR 12319/1992 foi cancelada pela ABNT.

2.6. Pista de vibração

A norma que rege a construção e características das pistas de vibração é a Norma ISO 5008. As pistas para ensaio de vibração em tratores agrícolas são divididas em duas categorias, a primeira com 35 metros de comprimento e desníveis mais acentuados e outra de 100 metros de comprimento e uma rugosidade mais branda.

Cada pista consiste em duas faixas paralelas espaçadas por onde passam os pneus do trator. A superfície de cada faixa é construída com concreto e sobre este são colocados os degraus de madeira, metal ou concreto, firmemente fixados à base. A distribuição dos degraus é feita de acordo com as tabelas disponibilizadas pela norma, sendo que as elevações na pista de 35 metros mudam sempre em intervalos de 80 mm e a cada 160 mm na pista de 100 metros. Cada trecho (esquerda e direita) de ambas as pistas possui uma distribuição diferente dos níveis de elevação, sendo, portanto, a pista assimétrica (ISO 5008, 2002).

2.7. Ensaios em pista de vibração

A avaliação do desempenho operacional de uma máquina ocorre através da análise feita sobre suas características quali-quantitativas durante a realização das atividades para as quais foram projetadas (MIALHE, 1974). Para avaliação dos tratores empregam-se ensaios que permitem a obtenção de resultados importantes sobre o seu desempenho operacional através de medições em laboratório e ou campo.

Para alcançar bons resultados de desempenho a campo, é necessário avaliar a máquina, gerando informações que permitam solucionar as falhas, tornando-as mais

eficientes ou eficazes. Os resultados dos ensaios devem ser confiáveis, pois são muito importantes para gerar dados que auxiliam os fabricantes a aprimorarem seus produtos, e quando disponibilizados ao público, podem ser empregados na seleção do maquinário a ser adquirido pelos produtores rurais para uso em suas propriedades agrícolas (MIALHE, 1996).

Os ensaios são fundamentais para embasar a tomada de decisão sobre as mudanças que devem ser feitas na máquina visando melhorar a sua capacidade de trabalho ou segurança (MIALHE, 1996). Estas decisões são feitas com base nos dados gerados pelos instrumentos utilizados durante as avaliações e permite a obtenção dfo melhor desempenho produtivo, menores custos operacionais do trator, redução dos riscos de acidentes e também de problemas de saúde dos operadores.

Para realização dos ensaios, torna-se necessário utilizar sensores para geração e coleta de dados, que fornecerão informações sobre o comportamento e eficiência da máquina agrícola avaliada, indicando quais são as melhorias necessárias para aprimorar seu desempenho (SILVA et al., 2001).

Com o crescimento do emprego de máquinas e implementos na agricultura, aumentou-se a importância da mensuração das capacidades operacionais, da quantificação dos esforços atuantes e do consumo de combustível, principalmente por parte dos fabricantes. Para isso, é necessário utilizar equipamentos e sensores que permitam gerar dados sobre estas características.

Os dados coletados tornam possível a obtenção do desempenho operacional da máquina avaliada, e servem como base para as tomadas de decisões e recomendações dos fabricantes. O emprego de instrumentação eletrônica melhora a capacidade de realização do ensaio devido a facilidade de programação e operação das cadeias de medições (MANTOVANI et al., 1999).

Para Serrano (2007), a medição dos parâmetros físicos de desempenho de tratores agrícolas é feita através de sistemas que dependem dos tipos de sensores que o constitui. Geralmente os sistemas são constituídos por um sensor de velocidade, uma célula de carga, medidores de fluxo de combustível, sensores de temperatura e sensores magnéticos de proximidade.

Para obter a certificação do trator pelos laboratórios especializados, este deve apresentar requisitos mínimos de segurança, conforto, capacidade de trafegar em vias públicas, economia de combustível, características dimensionais e distribuição de massas adequadas a suas funções, possuir sistema hidráulico, tomada de potência e barra de

tração, estando todas estas características em conformidade com as normas nacionais e internacionais de regulamentação (MIALHE, 1996).

Segundo a Norma ISO 5008 (2002), na pista de vibração de 35 metros o trator deve ser ensaiado nas velocidades de $4,0 \text{ km h}^{-1}$; $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $7,0 \text{ km h}^{-1}$, devendo-se determinar os valores de RMS nos três eixos em todas as passagens do trator sobre a pista. A coleta de dados deve ser feita durante todo o deslocamento do trator sobre a pista. Para cada velocidade são necessárias 5 repetições.

Todos os dados levantados são úteis para o desenvolvimento e disponibilização de melhores máquinas, capazes de aliar segurança, desempenho e menores custos operacionais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Pista de ensaio

O ensaio foi realizado na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu - SP. As coordenadas geográficas da área experimental onde se encontra a pista são: 22°51’S e 48°25’W e a altitude do local é de 770 metros.

A coleta de dados foi realizada sobre pista para ensaio de vibração em tratores agrícolas construída em madeira segundo a Norma ISO 5008 de 2002 (Figura 10).

A disposição dos degraus de madeira de acordo com sua elevação ao longo dos dois trechos de deslocamento (Figura 10 a 13) obedeceu a ordem estabelecida pela norma.



Figura 10. Pista de vibração utilizada para ensaio. FCA/Botucatu, (2015).

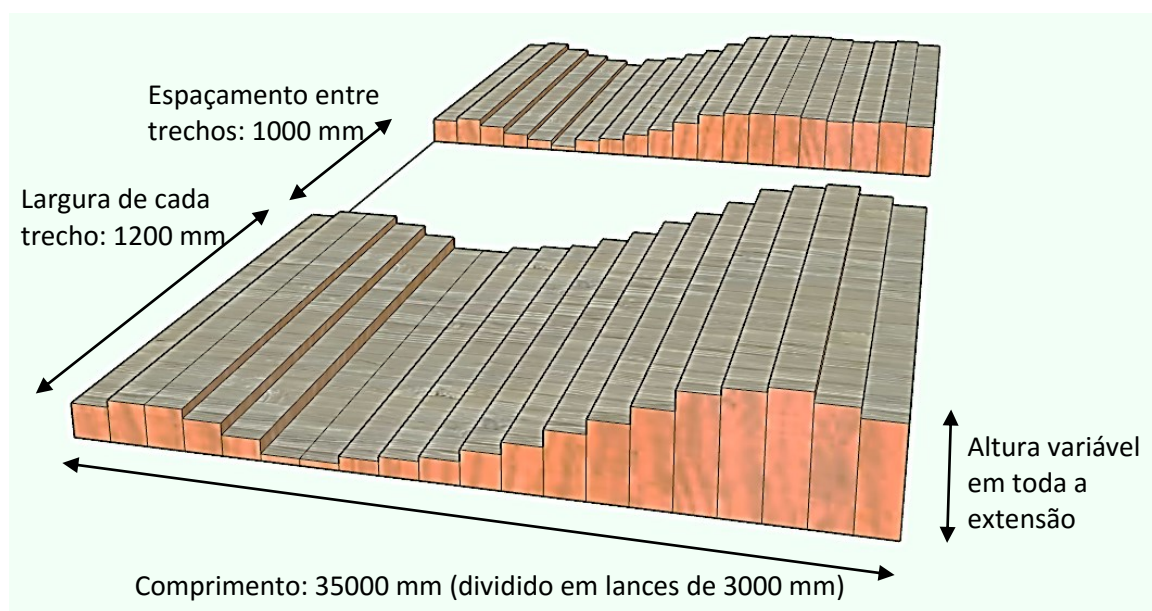


Figura 11. Trecho da pista de vibração apresentando a disposição e as diferentes alturas dos degraus de madeira e medidas de comprimento e largura de cada trecho da pista.

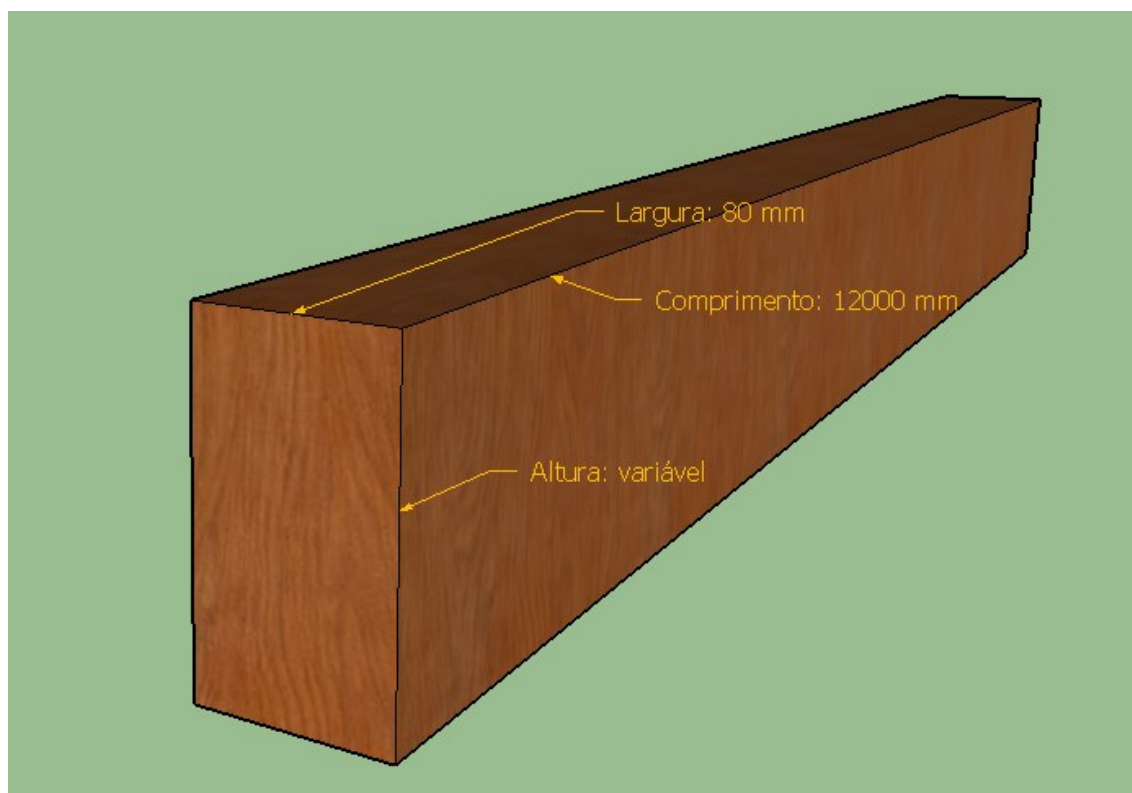


Figura 12. Representação de um dos degraus de madeira utilizados na pista de vibração.



Figura 13. Variação de altura em um trecho da pista de ensaio. FCA/Botucatu, (2015).

3.1.2. Trator

Foi utilizado um trator agrícola 4x2 TDA com 92 kW de potência no motor (Figura 14), ensaiado com diferentes massas através da alteração da quantidades e tipos de lastros, utilizando um conjunto de pneus diagonais TM 95 (dianteiros 14.9-24 e traseiros 23.1-30). Os dados técnicos do trator são apresentados na Tabela 4.



Figura 14. Trator utilizado para ensaio. FCA/Botucatu, (2015).

Tabela 4. Características técnicas de catálogo do trator utilizado no ensaio

Número de cilindros (cm ³)	4 (4500)
Aspiração	Turbo alimentado
Bomba injetora (Marca)	Rotativa DP100 (Lucas)
Potência máxima (kW/cv)	92/125
Reserva de torque (%)	25
Rotação nominal (rpm)	2300
Tipo de cambio	Engrenagens helicoidais sincronizadas
Nº de marchas	16 a frente e 16 a ré
Velocidades (km h ⁻¹)	2,5 a 30,6 @ 2300 rpm
Bloqueio do diferencial	Eletrohidráulico
Embreagem	Mecânica hidráulica
Distância entre eixos (mm)	2400
Comprimento total (mm)	4570
Altura máxima (mm)	2670
Bitola (mm)	1550
Altura da barra de tração (mm)	505

3.1.3. Assento

O assento presente no trator pertence a família de assentos FA 418/631 (Figura 15 e 16), fabricado pela Grammer AG do Brasil.

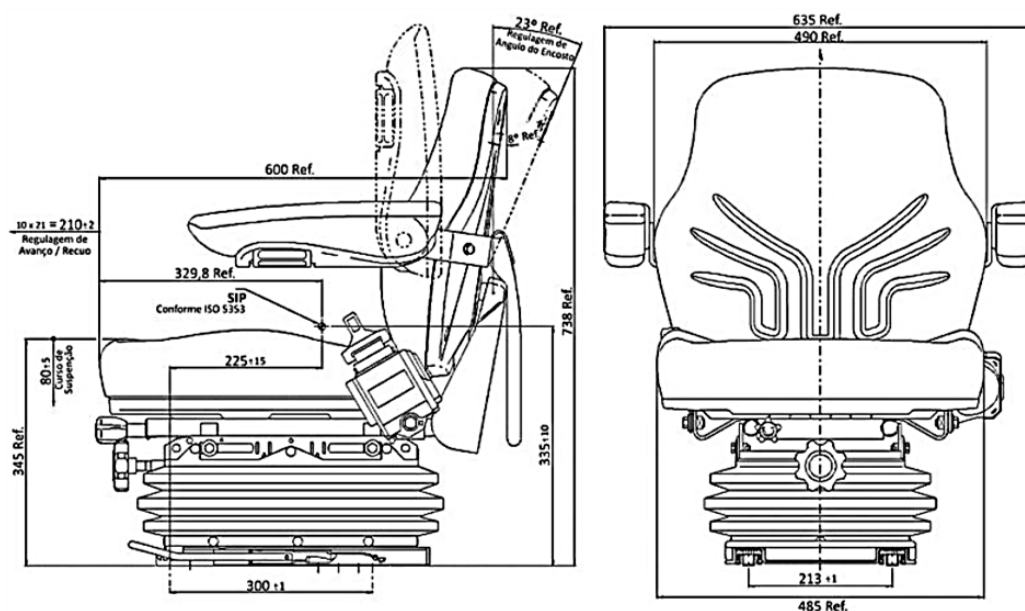


Figura 15. Características dimensionais do assento. Fonte: <http://brasil.grammer.com/brasil/produtos/ds/ag/fa0/fa418631/dimensoes21.html>. Acesso em 09 de março de 2015.



Figura 16. Assento do trator ensaiado. FCA/Botucatu, (2015).

3.1.4. Equipamentos de aquisição dos dados

Para aquisição dos dados de desempenho operacional empregou-se, um acelerômetro de três eixos (X, Y e Z) - HVM 100 Larson Davis (Figura 17) e software Blaze 6.1.1 para transferência de dados. O equipamento foi adquirido como parte do Projeto 470869/2012-7, Chama Universal 14/2012 - Faixa A, com verbas cedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e gentilmente cedido pelo professor João Eduardo Guarnetti dos Santos para utilização no ensaio. Também foi empregado um tacômetro digital modelo DT6234B (Figura 18) para verificação da rotação do motor.



Figura 17. Medidor de vibração HVM 100. Fonte: http://www.techperuindustrial supply.com/fotoproducto/IMG_0245.png. Acesso em 09 de março de 2015.



Figura 18. Tacômetro digital DT6234B. FCA/Botucatu, (2015).

3.2. Métodos

3.2.1. Medição da vibração

Para avaliação da vibração foi utilizado um acelerômetro de três eixos (eixos x, y e z) HVM – 100 em conjunto com um acelerômetro SEN027 - *Seat Pad*, ambos fabricados pela Larson Davis. O equipamento realiza leituras simultâneas triaxiais, possibilitando configurações independentes para cada eixo de acordo com o manual do fabricante. O acelerômetro possui 4 canais, sendo 3 para as medições de vibração nos três

eixos cartesianos (x, y, z), e 1 para a medição da pressão sonora. O aparelho foi calibrado antes dos ensaios (Anexo 1).

O equipamento registra vários parâmetros de acelerações e é capaz de realizar várias ponderações (inclusive severidade) em diferentes modos de coleta. Possui memória para 100 repetições e 10 configurações. O aparelho armazenador apresenta interface Serial RS- 232 e saída de sinais AC/DC. A variação na coleta é menor que 0,5 dB para a temperatura de operação entre -10° C à 50° C; umidade de 30 a 90% e interferência eletromagnética de 80^a/m@60Hz.

O sistema de medição para corpo inteiro (*whole body*) foi fixado sobre o assento do operador de acordo com a NHO 09 (2013), com o acelerômetro tri-axial (disco flexível, com um acelerômetro central) para mensurar a vibração aplicada a todo o corpo humano, de acordo com os três eixos.

Dessa forma, foram obtidas as medições de acelerações médias, máxima e mínima, o valor de pico máximo, a aceleração média com fator de soma dos eixos, o valor da dose de vibração, o fator de crista e a projeção de dose para 8 horas de trabalho.

As coordenadas cartesianas que foram obedecidas na fixação do acelerômetro ao assento foram: eixo x – frente/trás; eixo y – direita/esquerda; eixo z – para cima/para baixo. Para evitar a movimentação do disco, este foi fixado por meio de fita adesiva ao assento (Figura 19). Em seguida, fez-se o ajuste no aparelho coletor dos dados dos parâmetros referentes à vibração no corpo todo, a medição nos três eixos cartesianos, e o intervalo de aquisição dos dados. O acionamento da aquisição dos dados foi feito momentos antes da passagem pela pista, sendo desligado logo após a passagem total na pista (Figura 20). A aquisição dos valores de aceleração nos 3 eixos (x-y-z) foram ajustadas para serem realizadas a cada 1 segundo em todos os ensaios.



Figura 19. Fixação do acelerômetro SEN027 - *Seat Pad* ao assento do operador. FCA/Botucatu, (2015).

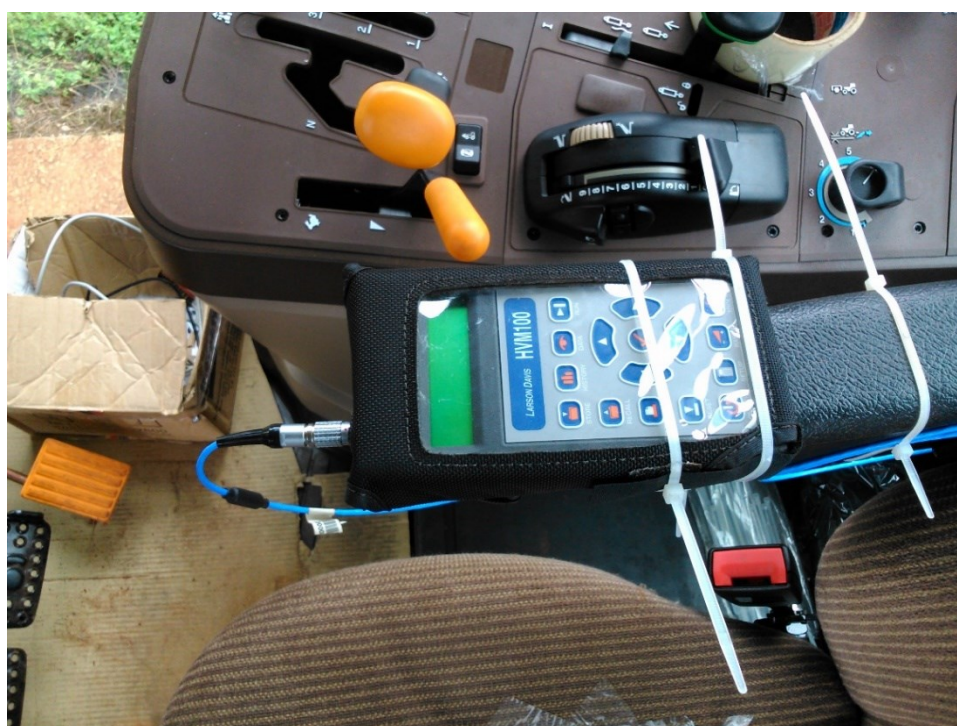


Figura 20. Fixação do equipamento de aquisição de dados HVM 100. FCA/Botucatu, (2015).

3.2.2. Massa do trator

O trator foi ensaiado com quatro condições de lastragem (exemplos nas Figuras 21 e 22), que resultaram em três diferentes massas: 48 kN (sem qualquer tipo de lastro adicional), 54 kN (empregando somente lastro líquido ou sólido) e 70 kN (totalmente lastrado utilizando uma combinação de lastros sólidos e líquido). Em todas as situações adotou-se a mesma distribuição de 35% do peso no eixo dianteiro e 65% no eixo traseiro.



Figura 21. Exemplo de lastragem do trator. FCA/Botucatu, (2015).



Figura 22. Exemplo de lastragem do trator. FCA/Botucatu (2015).

3.2.3. Velocidade média de deslocamento

Para determinação da velocidade do trator utilizou-se um cronômetro para medição do tempo de deslocamento sobre a pista que possui comprimento fixo e conhecido de 35 m. A velocidade média de deslocamento foi obtida através da Equação 1.

$$v = d.t^{-1} \quad (1)$$

Onde:

v = velocidade de deslocamento (m s^{-1})

d = distância percorrida pelo conjunto (m)

t = tempo de deslocamento (s)

Foram adotadas as seguintes velocidades para a coleta dos dados:
 $1,19 \text{ m s}^{-1}$; $1,47 \text{ m s}^{-1}$; $1,75 \text{ m s}^{-1}$ e $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

3.2.4. Pressões internas dos pneus.

Adotaram-se as seguintes combinações de pressões de inflação para os pneus traseiros e dianteiros, respectivamente: 82,73 e 110,31 kPa; 110,31 e 137,85 kPa; 137,85 e 165,47 kPa.

3.2.5. Rotação do motor

A rotação do motor foi determinada com auxílio de um tacômetro digital modelo DT6234B, medindo-se a velocidade de giro da árvore de manivelas do motor. Todas as coletas de dados foram realizadas com o motor a 2300 rpm no virabrequim.

3.2.6. Tração dianteira auxiliar

A tração dianteira auxiliar permaneceu ligada durante todas as coletas de dados. O peso do operador durante o ensaio era de 61 kg, sendo mantida a regulagem do assento para este peso durante todo o ensaio.

3.2.7. Configuração do equipamento

O equipamento HMT100 foi configurado para operar com o modo de corpo inteiro, média lenta, acelerômetro ICP, com referência de exposição de $2,8 \text{ m s}^{-2}$, sem integração, ponderação de frequência Wm Prédios, fatores multiplicativos de 1,4 (para os eixos x e y) e 1 (eixo z), sem ganho e saída com AC ponderado.

3.2.8. Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados durante o deslocamento do trator sobre a pista de vibração foram: os valores de soma dos eixos para acelerações média, máxima e mínima resultantes, valor de pico máximo, fator de crista, valor da dose de vibração (nível de alerta) e a projeção de dose para 8 horas de trabalho.

A aceleração média resultante é correspondente à raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações médias, medidas segundo os três eixos ortogonais “x”, “y” e

“z”, dada pela Equação 2, enquanto as acelerações máxima e mínima expressam os valores máximos e mínimos da raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações obtidas segundo os três eixos ortogonais “x”, “y” e “z”.

$$\text{amr: } \sqrt{(fx \text{ amx})^2 + (fy \text{ amy})^2 + (fz \text{ amz})^2} = m.s^{-2} \quad (2)$$

Onde:

am = aceleração média;

f = fator de multiplicação em função do eixo considerado (f = 1,4 para os eixos “x” e “y” e 1,0 para o eixo “z”);

O valor de pico máximo representa o valor da maior grandeza, sendo utilizado para indicar níveis de impactos de curta duração. O fator de crista permite determinar a homogeneidade da vibração ao longo de um período no cenário em estudo, através da ocorrência de pico destacados, que podem ser resultantes de fenômenos repetitivos a intervalos regulares (Equação 3).

$$\text{fc: } vp/v_{RMS} = \text{dB} \quad (3)$$

Onde:

fc = fator de crista;

vp = valor de pico;

vRMS = valor RMS da aceleração.

O valor da dose de vibração (VDV) é o valor obtido a partir do método de dose de vibração à quarta potência determinada na direção “i”, onde “i” corresponde aos eixos ortogonais “x”, “y” ou “z”, expresso em $m.s^{-1,75}$ (Equação 4). Nas normas internacionais adota-se o valor dose de vibração como sendo o maior valor de dose de vibração obtido entre os três eixos ortogonais enquanto a Norma NHO 09 (2013) obtém este valor através do conceito de valor dose resultante (VDVR).

$$\text{VDV: } \sqrt[4]{\int_0^t [a_j(t)]^4 dt} = [m.s^{-1,75}] \quad (4)$$

Onde:

$a_j(t)$ = aceleração instantânea ponderada em frequência;

t = tempo de duração da medição.

A projeção $A(8)$, é um método de avaliação que gera um valor médio de vibração ajustado para representar a dose de uma jornada de trabalho de oito horas, pois no banco do operador os valores se mantem de forma relativamente estável durante este período (SCARLETT et al., 2007). A projeção $A(8)$ é dada pela Equação 5.

$$A(8): ap \sqrt{\frac{t}{t_0}} \quad (5)$$

Onde:

ap : é a aceleração ponderada, combinada nos três eixos, equivalente em $m s^{-2}$

t_0 : é uma duração de referência de 8 horas.

Na Tabela 5 são apresentados os critérios para tomada de decisão baseados na aceleração resultante de exposição normalizada ($aren$), e valor de dose de vibração resultante (VDVR), além do conjunto mínimo de medidas preventivas e corretivas que devem ser adotados quando constadas as condições com níveis de vibrações prejudiciais.

Tabela 5. Critério de julgamento e tomada de decisão. Fonte: Norma de Higiene Ocupacional 09 – NHO 09 (2013).

$aren (m s^{-2})$	VDVR ($m s^{-1,75}$)	Consideração Técnica	Atuação Recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável.	No mínimo manutenção da condição existente.
$> 0,5$ a $< 0,9$	$> 9,1$ a $< 16,4$	Acima do nível de ação.	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza.	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
Acima de 1,1	Acima de 21	Acima do limite de exposição.	Adoção imediata de medidas corretivas.

3.2.9. Análise estatística

O trator foi ensaiado em pista de vibração com quatro condições de lastragem: completamente lastrado através da combinação de uso de lastragem líquida e sólida (L1), empregando somente lastro sólido (L2), somente lastro líquido (L3) e completamente sem lastros (L4), em quatro velocidades de deslocamento: $1,19 \text{ m s}^{-1}$ (V1); $1,47 \text{ m s}^{-1}$ (V2); $1,75 \text{ m s}^{-1}$ (V3) e $2,08 \text{ m s}^{-1}$ (V4), três combinações de pressões de inflação nos rodados traseiros e dianteiros respectivamente: P1 (82,73 e 110,31 kPa); P2 (110,31 e 137,85 kPa); e P3 (137,85 e 165,47 kPa), conforme apresentado na Tabela 6. O delineamento experimental foi completamente casualizado, em esquema fatorial, com cinco repetições, totalizando 240 unidades amostrais.

Tabela 6. Subdivisões e denominação dos tratamentos do delineamento experimental.

Tratamentos	Subdivisões das Variáveis	Denominação
Lastros	Lastragem máxima (uso misto de lastro sólido e líquido)	L1
	Somente lastro sólido	L2
	Somente lastro líquido	L3
	Lastro mínimo	L4
Velocidades de deslocamento	$1,19 \text{ m s}^{-1}$	V1
	$1,47 \text{ m s}^{-1}$	V2
	$1,75 \text{ m s}^{-1}$	V3
	$2,08 \text{ m s}^{-1}$	V4
Pressões internas dos pneus	82,73 kPa nos pneus traseiros e 110,31 kPa nos pneus dianteiros	P1
	110,31 kPa nos pneus traseiros e 137,85 kPa nos pneus dianteiros	P2
	137,85 kPa nos pneus traseiros e 165,47 kPa nos pneus dianteiros	P3

Para melhor exploração dos dados o experimento foi dividido em duas partes optou-se por realizar a análise discriminante de agrupamentos para o fator pressão pois segundo Pimentel Gomes (1987), não é recomendável o desdobramento da interação tripla. Depois, separadamente para cada uma das três pressões, realizou-se a análise de variância e separação de médias para todas as variáveis analisadas e a análise de componentes principais para as medições de aceleração média e valor da dose de vibração. Todas as análises estatísticas foram feitas com Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) com auxílio do software Minitab® 16.2.4.4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise discriminante para a variável pressão

O resultado da análise indicou que não foram formados grupos distintos significativos entre as três diferentes pressões ensaiadas em pista de vibração de 35 m (Tabela 7). Isso indica que as combinações de pressões não geraram resultados distintos, de elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos), e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). Dessa forma, devido aos baixos valores de probabilidade, optou-se por realizar a análise das diferentes velocidades e tipos de lastragens dentro de cada combinação de pressões.

Os resultados encontrados podem ter ocorrido devido à utilização de valores de pressão dentro da faixa adequada, conforme recomendação da literatura, e por não serem excedidos os valores recomendados pelo fabricante, pois segundo Schlosser (2002), deve-se adotar em torno de 80 kPa como pressão mínima de trabalho para pneus diagonais e radiais. Além disso, a forma construtiva dos pneus diagonais também pode ter contribuído, pois este tipo de pneu possui um talão forte que diminui as deformações verticais, o que resulta em menor capacidade de absorção das imperfeições da superfície. Nguyen e Inaba (2011), apontam que a utilização de pressão reduzida em seu experimento não afetou os valores de aceleração RMS.

Tabela 7. Resultado da análise discriminante para as três combinações de pressões utilizadas no ensaio.

Grupo	Grupos Verdadeiros		
	P1	P2	P3
P1	34	23	15
P2	30	41	19
P3	16	16	46
N por grupo	80	80	80
N distintos	34	41	46
Probabilidade	0,425	0,512	0,575
N total		240	
N distintos		121	
Probabilidade média		0,504	

N: número de elementos. P1: combinação de pressões 1; P2: combinação de pressões P2; P3: combinação de pressões P3.

Os resultados encontrados estão de acordo com os obtidos por Ribas et al. (2014), que observaram os maiores índices de vibrações incidentes sobre os operadores quando foram utilizados os maiores valores de pressão de inflação, porém não obteve diferença significativa entre os diferentes valores de pressão de inflação dos pneus. Por sua vez, Franchini (2007), obteve resultados que demonstraram que a velocidade mais baixa e a maior pressão resultaram em melhor conforto, enquanto a velocidade mais alta tornou desconfortável a operação do trator. Hilbert et al. (2004), também concluíram que as diferentes pressões de inflação dos pneus influenciaram na vibração que incidiu sobre o operador.

4.2. Aceleração média resultante

Ocorreu interação significativa entre as diferentes lastragens e velocidades em todas as pressões ensaiadas em pista de vibração de 35 m. Pode-se observar nas Tabelas 8, 9 e 10, que nas três combinações de pressões os menores valores de aceleração média resultante foram obtidos na combinação entre a menor velocidade de deslocamento (V1) e a lastragem L1, porém na combinação P3 este resultado ocorreu também na lastragem L2 em combinação com a velocidade V2. Os maiores valores de aceleração média resultante ocorreram na velocidade V4 em combinação com as lastragens L3 e L4 na combinação de pressões P1, com as lastragens L2, L3 e L4 na combinação P2 e com as lastragens L3 e L4 na combinação P3.

Tabela 8. Valores de soma de aceleração média (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	2,58 Cd	3,14 Dc	3,79 Db	4,90 Ca
L2	2,85 Bd	3,37 Cc	3,97 Cb	5,34 Ba
L3	3,05 Ad	3,67 Ac	4,60 Ab	5,55 Aa
L4	3,00 Ad	3,52 Bc	4,34 Bb	5,57 Aa
F de Lastragem	42,95**			
F de Velocidade	665,39**			
F de Lastragem* Velocidade	1,43**			
CV(%)	1,48			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 9. Valores de soma de aceleração média resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	2,68 Bd	3,11 Bc	3,99 Cb	5,27 Ba
L2	3,02 Ad	3,55 Ac	4,23 Bb	5,56 Aa
L3	2,86 ABd	3,48 Ac	4,77 Ab	5,45 Aba
L4	3,05 Ad	3,67 Ac	4,59 Ab	5,56 Aa
F de Lastragem	100,44**			
F de Velocidade	3019,95**			
F de Lastragem* Velocidade	14,28**			
CV(%)	2,22			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Segundo Kroemer e Grandjean (2005), em todos os ensaios em que foram simulados os efeitos psicofisiológicos das vibrações, a eficiência na direção foi prejudicada por vibrações na faixa de 4 Hz, onde os efeitos negativos crescem com o aumento da aceleração, sendo que os erros de direção aumentaram quando o operador está sujeito a acelerações na ordem de $0,5 \text{ m s}^{-2}$, tornando impossível dirigir com segurança quando as acelerações atingem $2,5 \text{ m s}^{-2}$. Os resultados encontrados evidenciaram que, em todas as condições, os valores de aceleração se encontram acima do nível adequado para permitir que o operador possa operar o trator com segurança.

Tabela 10. Valores de soma de aceleração média resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	2,81 Bd	3,21 Cc	4,16 Bb	5,49 Ba
L2	2,86 Bd	3,49 Bc	4,34 Bb	5,57 Ba
L3	3,10 Ad	3,52 Bc	4,67 Bb	5,89 Aa
L4	3,19 Ad	3,90 Ac	4,99 Ab	6,06 Aa
F de Lastragem	140,34**			
F de Velocidade	2832,04**			
F de Lastragem* Velocidade	4,66**			
CV(%)	2,43			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

O maior peso e a menor velocidade podem ser fatores que proporcionem menor energia inercial e maior estabilidade ao trator durante seu deslocamento, permitindo que os pneus possam se adaptar melhor ao terreno através de sua deformação vertical e horizontal para absorver de forma mais eficiente as imperfeições existentes, o que acaba diminuindo a energia e intensidade das vibrações que chegam até o posto de operação, por outro lado, a maior velocidade foi determinante em todas as pressões ensaiadas para obtenção dos maiores valores de acelerações médias devido a maior energia inercial e movimentos mais rápidos ocasionados nesta situação.

Franchini (2007) obteve resultados que demostram que na faixa de 0 a 15 Hz a vibração foi amplificada devido ao uso de lastro metálico total, o que ocorreu também no intervalo de 0 a 19 Hz devido ao emprego de lastro metálico parcial e na faixa de 71 a 76 Hz com uso de lastro líquido total, sendo que os valores de transmissibilidade na análise de 1 a 80 Hz corresponderam a 59; 74 e 88%, respectivamente para os lastros metálico total, lastro metálico parcial e lastro líquido total. Pinho et al. (2014), indicaram que os menores valores de vibração, quando se utiliza o lastro metálico total ocorreram devido a maior tendência inercial em função da aceleração longitudinal ser inversamente proporcional à massa do trator e diretamente à força motora dele, e quando se utiliza a mesma relação massa/potência, mas com o lastro líquido, o movimento oscilatório da água no interior do pneu, na direção de deslocamento, produziu um aumento da magnitude das acelerações.

Os altos valores de aceleração média resultante obtidos neste ensaio em pista de vibração de 35 m se devem às características da pista, que busca simular uma condição de grande irregularidade no terreno de trabalho, como por exemplo as encontradas em um solo recém trabalhado com arados e subsoladores, ou quando existem obstáculos em meio ao campo, como canais de assoreamento, canteiros, camaleões, pedras, galhos e tocos. Kumar et al. (2001), obtiveram em seus ensaios, valores de aceleração média entre 1,58 e 4,57 m s^{-2} em pista de vibração padronizada, estradas pavimentadas e terreno coberto por palhada. Estes autores apontam que ensaios de vibração realizados durante as operações agrícolas apresentam menores valores devido aos implementos atuarem como atenuadores da vibração.

4.3. Aceleração máxima resultante

As tabelas 11, 12 e 13 apresentam os dados de aceleração máxima resultante para cada tratamento obtida no ensaio em pista de vibração de 35 m. Para a combinação de pressões P1, o tratamento com lastragem máxima (L1) e menor velocidade (V1) resultou no menor valor de aceleração máxima resultante, enquanto os maiores valores foram obtidos na velocidade mais rápida (V4) nos tratamentos sem lastro (L4), somente utilizando água (L3) e somente empregando lastro sólido (L2). Para as pressões P2, os menores valores foram observados na velocidade V1 em conjunto com as lastragens L1, L2 e L3 e na velocidade V2 em combinação com a lastragem L1 e os maiores valores ocorreram na velocidade mais rápida (V4) juntamente com as lastragens L4, L2 e L1. Na combinação P3 os valores mais baixos de aceleração máxima resultante foram encontrados na velocidade V1 em conjunto com as lastragens L1 e L3, enquanto o maior valor ocorreu na velocidade V4 com uso de lastro sólido (L2).

A velocidade e a quantidade de lastros influenciaram o comportamento do trator, onde a menor velocidade e a maior massa de lastragem ocasionaram os menores valores de aceleração máxima resultante. Isso pode ser resultado da menor amplitude de movimentos do trator quando opera com estas condições.

Tabela 11. Valores de soma de aceleração máxima resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	3,58 Bd	4,21 Bc	5,08 Cb	6,77 Ba
L2	3,95 ABd	4,77 Ac	5,24 BCb	7,57 Aa
L3	4,05 Ad	4,84 Ac	6,37 Ab	7,69 Aa
L4	4,22 Ad	4,63 Ac	5,53 Bb	7,44 Aa
F de Lastragem	7,96**			
F de Velocidade	149,41**			
F de Lastragem* Velocidade	1,02**			
CV(%)	3,18			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 12. Valores de soma de aceleração máxima resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	3,68 Bc	4,26 Bc	5,35 Bb	7,28 ABa
L2	4,42 Ac	4,90 Abc	5,37 Bb	7,71 Aa
L3	3,76 Bc	4,99 Ab	6,68 Aa	7,05 Ba
L4	4,05 ABc	4,42 Ab	6,30 Ab	7,68 ABa
F de Lastragem	1,70**			
F de Velocidade	57,68**			
F de Lastragem* Velocidade	1,08**			
CV(%)	5,10			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Segundo Pinho et al. (2014), o tipo de lastro apresenta influência sobre o nível de vibração que incide sobre o operador, pois em experimento realizado pelos autores, o lastro líquido não proporcionou amplificação de vibração na baixa frequência; porém, a vibração propagada através da estrutura do trator produziu altos valores de magnitude de vibração na interface do assento e o operador, ao se comparar com os outros tratamentos.

Tabela 13. Valores de soma de aceleração máxima resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	3,82 Ad	4,49 Cc	5,64 BCb	7,58 Ba
L2	4,21 Ac	4,55 BCc	5,53 Cb	7,44 Ba
L3	4,02 Ad	4,98 Bc	6,08 Bb	7,88 ABa
L4	4,19 Ad	5,51 Ac	6,86 Ab	8,11 Aa
F de Lastragem		6,04**		
F de Velocidade		118,77**		
F de Lastragem* Velocidade		0,74**		
CV(%)		3,66		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Quando a aceleração máxima resultante atingiu valores muito altos aumentou-se o risco de danos à saúde do operador, o que torna necessário maiores cuidados e a adoção medidas que possam auxiliar efetivamente na amenização dos efeitos da vibração. Bouazara et al. (2006), obtiveram reduções nos valores de exposição a vibração através da utilização de assentos mais modernos dotados de suspensão. Porém, Paddan e Griffin (2002) afirmaram que são necessários cuidados pois o assento de um veículo pode tanto reduzir quanto aumentar a vibração sobre o operador de acordo com as suas características, sendo importante conhecer a dinâmica de cada um. Segundo Cunha et al. (2012), a suspensão dos assentos possui mecanismos de molas e amortecedores que contribuem para a redução da vibração de corpo inteiro através do isolamento das vibrações, mas resultam em baixas frequências de ressonância durante sua atuação, que pode coincidir com a frequência de ressonância do corpo humano.

4.4. Pico máximo de aceleração

A análise dos resultados obtidos durante o ensaio em pista de vibração de 35 m mostra que ocorreu interação significativa entre as diferentes lastragens e velocidades adotadas em todas as combinações de pressões para o pico máximo de aceleração (Tabelas 14, 15 e 16). Na combinação dos menores valores de pressão (P1) os menores valores de amplitude foram observados com o trator utilizando a máxima lastragem (L1) com a menor velocidade (V1), enquanto os maiores valores ocorreram na maior

velocidade (V4) em combinação com o trator sem lastros (L4) e utilizando somente lastragem sólida (L2). Em P2, o uso da máxima lastragem aliado a maior velocidade gerou a maior amplitude de aceleração. Na combinação de máxima pressão de inflação dos pneus (P3), a velocidade V1 ocasionou as menores amplitudes em todas as condições de lastragens, enquanto a combinação da maior velocidade (V4) e as lastragens máxima (L1) e somente utilizando lastro sólido (L2) geraram as maiores amplitudes.

Tabela 14. Valores de soma de pico máximo de aceleração (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	6,34 Ac	7,71 Ac	10,03 Bb	14,58 Ba
L2	6,75 Ac	8,48 Abc	9,83 Bb	16,92 Aa
L3	7,41 Ac	8,83 Ac	13,68 Ab	16,00 Aba
L4	7,44 Ac	8,48 Abc	10,30 Bb	16,54 Aa
F de Lastragem	1,61**			
F de Velocidade	45,87**			
F de Lastragem* Velocidade	0,64**			
CV(%)	7,84			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 15. Valores de soma de pico máximo de aceleração (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	6,25 Ac	8,07 Abc	10,84 Ab	19,72 Aa
L2	7,41 Ab	8,83 Ab	10,35 Ab	16,58 Ba
L3	6,47 Ac	9,26 Abc	12,30 Ab	15,72 Ba
L4	7,64 Ab	8,83 Ab	13,36 Aa	15,12 Ba
F de Lastragem	0,34 ^{ns}			
F de Velocidade	19,25**			
F de Lastragem* Velocidade	0,58**			
CV(%)	12,55			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 16. Valores de soma de pico máximo de aceleração (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,00 Ac	8,30 Abc	10,49 Bb	17,56 Aa
L2	7,49 Ac	8,48 Abc	10,30 Bb	16,54 Aa
L3	7,43 Ac	9,42 Abc	11,96 ABb	16,34 Aa
L4	7,21 Ad	10,64 Ac	14,46 Ab	18,60 Aa
F de Lastragem	1,32**			
F de Velocidade	28,90**			
F de Lastragem* Velocidade	0,33**			
CV(%)	10,00			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Os maiores valores de picos de aceleração podem ser observados na maior velocidade (V4) em todas as combinações de pressão, demonstrando que a velocidade foi a maior responsável pelos maiores picos devido à amplificação das irregularidades da pista pelos pneus devido a maior energia existente nestas condições de deslocamento. Segundo Barbosa et al. (2005), os pneus absorvem a maior parte das vibrações de alta frequência na interface com o solo; porém, as vibrações de baixa frequência são transmitidas através da estrutura do trator até o operador.

Somente ocorreram diferenças entre as condições de lastragens nas velocidades V3 e V4. Pinho et al. (2014), também obtiveram diferenças entre as lastragens, onde a utilização de lastro líquido não amplificou as vibrações de baixa frequência; porém, sua utilização produziu altos valores de magnitude de vibração na interface assento e operador, se comparado com os demais tratamentos, enquanto a lastragem metálica máxima permitida ao trator ocasionou os menores valores de magnitudes de acelerações, independente das direções, se comparado com as demais lastragens ensaiadas.

Mudanças na pressão interna dos pneus podem alterar sua capacidade de amenizar as irregularidades da superfície, o que diminui a capacidade dos mesmos em reduzir as vibrações que são geradas durante o deslocamento e são transmitidas aos demais componentes do trator. Pinho et al. (2014), obtiveram valores que não foram condizentes com outros autores, pois em seu experimento não houve absorção da vibração de alta frequência pelos pneus, sendo que o autor atribui esse resultado a possibilidade da água ter alterado as propriedades de rigidez do conjunto. Isso é importante, pois o pico

máximo das acelerações pode ser perigoso à saúde do operador, causando lesões e danos ao organismo, principalmente quando ocorre de forma abrupta.

4.5. Aceleração mínima resultante

Entre as três combinações de pressões ensaiadas em pista de vibração de 35 m somente ocorreram interações significativas entre as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento do trator em P3 (Tabelas 17, 18 e 19). Na combinação P1 a lastragem L1 apresentou valores mais baixos de aceleração mínima resultante do que a lastragem L4. Isso pode ter ocorrido devido ao melhor equilíbrio e menores amplitudes de movimentos ocasionados pelo maior peso. As velocidades V1 e V4 resultaram em menores valores de aceleração mínima resultante quando comparados a velocidade V3. Em P2, o maior valor de aceleração mínima resultante foi encontrado na velocidade V3. Os maiores valores encontrados na velocidade V3 podem ser ocasionados pela ocorrência da frequência com valores maiores de aceleração mínima resultante. Na combinação de pressões P3 não houve diferença entre os diferentes tratamentos.

Tabela 17. Valores de soma de aceleração mínima resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade				Média
	V1	V2	V3	V4	
L1	0,43	1,02	1,07	1,10	0,91 B
L2	1,27	0,95	1,35	1,27	1,21 AB
L3	0,98	1,39	2,11	0,79	1,32 AB
L4	1,00	1,93	2,24	1,54	1,67 A
Média	0,92 b	1,32 ab	1,69 a	1,17 b	
F de Lastragem				0,56**	
F de Velocidade				0,58**	
F de Lastragem* Velocidade				0,16 ^{ns}	
CV(%)				45,13	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s^{-1} ; V2: 1,47 m s^{-1} ; V3: 1,75 m s^{-1} ; V4: 2,08 m s^{-1} .

Tabela 18. Valores de soma de aceleração mínima resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade				Média
	V1	V2	V3	V4	
L1	0,83	0,72	1,67	1,02	1,06
L2	0,79	0,99	1,47	1,26	1,13
L3	1,18	1,29	1,43	1,50	1,35
L4	0,98	1,39	2,17	0,88	1,35
Média	0,95 b	1,10 b	1,68 a	1,17 b	
F de Lastragem				0,12 ^{ns}	
F de Velocidade				0,54 **	
F de Lastragem* Velocidade				0,10 ^{ns}	
CV(%)				50,45	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s^{-1} ; V2: 1,47 m s^{-1} ; V3: 1,75 m s^{-1} ; V4: 2,08 m s^{-1} .

Tabela 19. Valores de soma de aceleração mínima resultante (m s^{-2}) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	0,74 Aa	1,17 Aa	1,48 Aa	1,78 Aa
L2	0,98 Aa	1,81 Aa	2,24 Aa	1,54 Aa
L3	1,99 Aa	1,47 Aa	1,99 Aa	2,92 Aa
L4	1,71 Aa	2,41 Aa	2,67 Aa	1,83 Aa
F de Lastragem			0,68**	
F de Velocidade			0,50**	
F de Lastragem* Velocidade			0,24*	
CV(%)			37,52	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s^{-1} ; V2: 1,47 m s^{-1} ; V3: 1,75 m s^{-1} ; V4: 2,08 m s^{-1} .

Os dados de aceleração mínima demonstram que as variáveis ensaiadas podem afetar individualmente este parâmetro, sendo que a interação entre as mesmas não gerou resultados diferentes entre si. Pinho et al. (2014), relataram que o lastro metálico permitiu melhores resultados de minimização de vibração para o espectro de frequência de 0 a 200 Hz. Em experimento realizado por Marsili et al. (2002), a suspensão ativa presente no eixo dianteiro do trator foi capaz de atenuar em 13 e 15% da aceleração global quando o trator operou sem e com implemento respectivamente, sendo que em alguns casos foram obtidas reduções de até 30%.

Os resultados de aceleração mínima resultante encontrados podem ser devido a vários componentes que atuam atenuando as vibrações. Duke e Goss (2007) obtiveram até 22% de ganhos em capacidade de absorção das acelerações em assentos com diferentes tipos de suspensão, demonstrando que a adoção de sistemas de amortecimento pode contribuir muito para a diminuição das vibrações que incidem sobre o operador.

4.6. Fator de crista

Os maiores valores de fator de crista foram observados na velocidade V4 nas combinações de pressões P1 e P3 e no tratamento com maior lastragem (L1) juntamente com a maior velocidade V4 (Tabelas 20, 21 e 22).

Tabela 20. Valores de fator de crista (dB) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,8 Ab	7,8 Ab	8,4 Aab	9,5 Aa
L2	7,3 Ab	8,3 Ab	7,7 Bb	10,0 Aa
L3	7,8 Ab	8,1 Ab	9,4 Aa	8,6 Bab
L4	7,9 Ab	7,6 Ab	7,5 Bb	9,5 Aa
F de Lastragem	1,95 ^{ns}			
F de Velocidade	50,35**			
F de Lastragem* Velocidade	9,01**			
CV(%)	5,64			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s⁻¹; V2: 1,47 m s⁻¹; V3: 1,75 m s⁻¹; V4: 2,08 m s⁻¹.

É possível notar que o valor estabelecido pela Norma NHO 09 (2013) é ultrapassado na velocidade V3 para as condições L3 e na combinação de pressões P1 e na condição L4 nas combinações P2 e P3, e na velocidade V4 nas condições L1, L2 e L4 em P1, L1 e L3 na combinação P2 e em todas as condições de lastragens em P3. Nestes tratamentos ocorreram picos de acelerações que tornaram o valor de dose da vibração um parâmetro muito importante para determinar a insalubridade da operação.

Tabela 21. Valores de fator de crista (dB) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,3 Ab	8,3 Ab	8,7 Ab	11,3 Aa
L2	7,9 Aa	7,6 Aa	7,9 Aa	8,9 Ba
L3	7,1 Ab	8,9 Aab	8,2 Ab	10,3 Aba
L4	7,7 Aa	7,6 Aa	9,3 Aa	8,7 Ba
F de Lastragem	3,87*			
F de Velocidade	27,93**			
F de Lastragem* Velocidade	4,68**			
CV(%)	9,66			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s⁻¹; V2: 1,47 m s⁻¹; V3: 1,75 m s⁻¹; V4: 2,08 m s⁻¹.

Tabela 22. Valores de fator de crista (dB) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,9 Ab	8,2 Ab	7,6 Bb	10,1 Aa
L2	7,9 Ab	7,6 Ab	8,0 ABb	9,7 Aa
L3	7,6 Ab	8,2 Aab	8,4 ABab	9,3 Aa
L4	7,1 Ab	8,7 Aa	9,3 Aa	9,7 Aa
F de Lastragem	2,14 ^{ns}			
F de Velocidade	37,57**			
F de Lastragem* Velocidade	3,17**			
CV(%)	7,57			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s⁻¹; V2: 1,47 m s⁻¹; V3: 1,75 m s⁻¹; V4: 2,08 m s⁻¹.

4.7. Valor da dose de vibração

Nas tabelas 23, 24 e 25 são apresentados os valores da dose de vibração obtidos durante o ensaio em pista de vibração de 35 metros. Na combinação de pressão P1 os menores valores de valor de dose de vibração ocorreram na velocidade V1 e no tratamento com lastragem máxima na velocidade V2, enquanto os maiores valores foram encontrados na velocidade V4. Em P2, o melhor cenário foi obtido com a lastragem máxima (L1) na velocidade V1, e os piores resultados na velocidade V4. Na combinação P3,

novamente o melhor cenário ocorreu na interação entre a lastragem máxima (L1) e a menor velocidade (V1), enquanto o uso somente de lastro sólido (L2) com a velocidade V4 resultou no maior valor de dose de vibração.

Tabela 23. Valores da dose de vibração ($\text{m s}^{-1,75}$) de lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,48 Ac	8,50 Bc	11,18 Ab	14,58 Aa
L2	7,88 Ac	9,13 ABb	10,06 Bb	13,62 Aa
L3	8,45 Ad	9,81 Ac	12,00 Ab	14,08 Aa
L4	8,31 Ad	9,34 ABc	10,98 ABb	14,12 Aa
F de Lastragem	1,24**			
F de Velocidade	57,57**			
F de Lastragem* Velocidade	0,46**			
CV(%)	4,65			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 24. Valores da dose de vibração ($\text{m s}^{-1,75}$) de lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,53 Bd	8,83 Bc	10,30 Bb	13,54 Aa
L2	8,43 Ad	9,53 ABc	10,74 Bb	14,02 Aa
L3	7,80 ABd	9,41 ABc	12,18 Ab	13,56 Aa
L4	8,45 Ad	9,81 Ac	11,88 Ab	14,10 Aa
F de Lastragem	3,36**			
F de Velocidade	117,74**			
F de Lastragem* Velocidade	0,89**			
CV(%)	3,06			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 25. Valores da dose de vibração ($\text{m s}^{-1,75}$) de lastragens e velocidades de deslocamento na combinação de pressões P3.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,79 Bd	8,83 Cc	10,66 Cb	13,92 Ca
L2	8,28 Ad	9,27 BCc	10,98 Cb	14,12 Ca
L3	8,35 Ad	9,57 Bc	11,88 Bb	14,66 Ba
L4	8,65 Ad	10,44 Ac	12,72 Ab	15,24 Aa
F de Lastragem		19,73**		
F de Velocidade		365,22**		
F de Lastragem* Velocidade		8,89**		
CV(%)		1,83		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

O VDV representa a exposição cumulativa da exposição a vibração em um dia de trabalho, sendo mais indicado para avaliação do efeito da vibração sobre o corpo humano em jornadas maiores que 8 horas por representar de forma mais adequada os solavancos e choques que ocorrem durante o trabalho (SCARLETT et al., 2007). Dessa forma é importante ressaltar que durante o ensaio foram encontrados valores de fator de crista maiores do que nove ($FC > 9,0$) para muitos tratamentos (na velocidade V3 para as condições L3 e na combinação de pressões P1 e na condição L4 nas combinações P2 e P3, e na velocidade V4 nas condições L1, L2 e L4 em P1, L1 e L3 na combinação P2 e em todas as condições de lastragens em P3).

Em todas as combinações de pressões os tratamentos da velocidade V1 e a lastragem máxima (L1) em combinação com a velocidade V2 apresentaram valores abaixo do nível de ação ($9,1 \text{ m s}^{-1,75}$), não necessitando que fossem adotadas medidas para atenuar os valores de vibração incidentes sobre o corpo inteiro do operador, enquanto os demais tratamentos estão acima do nível de ação, porém sem atingir a região de incerteza (faixa entre os valores acima do nível de ação e o limite de exposição de $21 \text{ m s}^{-1,75}$), devendo-se adotar conjunto de medidas preventivas para estas condições, como redução da velocidade de trabalho, verificação da correta regulagem e posição do assento para operador, evitar sempre que possível superfícies muito irregulares, entre outras medidas que podem ser empregadas de acordo com as condições de trabalho.

As situações de exposição ocupacional superiores ao nível de ação implicam na adoção obrigatória de medidas de caráter preventivo, enquanto os cenários de

exposição ocupacional superiores ao limite de exposição implicam na obrigatória adoção de medidas de caráter corretivo. Os valores encontrados ocorreram devido ao propósito e pela forma construtiva da pista de vibração de 35 m, que busca simular uma superfície bem acidentada em que os tratores normalmente podem encontrar no campo.

Segundo Balbinot (2001), quando o valor de $8,5 \text{ m s}^{-1,75}$ é excedido existe a possibilidade de desconforto médio, pois segundo o mesmo, este parâmetro de avaliação indica a severidade da exposição à vibração; porém, não existe um consenso na comunidade científica da relação precisa entre VDV e o risco de ferimentos a que o corpo humano pode sofrer, sendo que durante o desempenho da atividade a campo valores de VDV em torno de $15 \text{ m s}^{-1,75}$ usualmente podem ocorrer em superfícies muito acidentadas, causando severo desconforto, dores e ferimentos.

Em experimento realizado por Ribas et al. (2014), utilizando tratores, foram encontrados valores de VDV superiores a $8,5 \text{ m s}^{-1,75}$ no assento e no seu suporte. Metha et al. (2000), encontraram variação nos valores de dose de vibração para oito horas de trabalho $15 \text{ m s}^{-1,75}$ durante o deslocamento do trator com arado e grade em modo de transporte nas velocidades de 1,64; 1,79 e $0,51 \text{ m s}^{-1}$ em estrada de asfalto tipo tarmacadam, estrada de fazenda e de campo respectivamente, nas velocidades 0,69; 1,54 e $0,51 \text{ m s}^{-1}$ com arado e grade de disco durante o modo de transporte e operação de gradagem, respectivamente, e em todas as velocidades ensaiadas durante a operação com arado.

4.8. Projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho

Nas tabelas 26, 27 e 28 são apresentados os dados de valores de projeção de dose para oito horas de trabalho, sendo todos os tratamentos se encontram acima do nível de ação ou na faixa de incerteza, exceto o tratamento com lastragem máxima (L1) e maior velocidade na combinação de pressões P1, cujo o valor excedeu o limite de exposição. Em P2, o pior resultado foi encontrado no tratamento com o uso de lastro sólido (L2) e a velocidade V4, e em P3 o maior valor de A(8) foi encontrado com o trator operando na maior velocidade (V4) e completamente sem lastros (L4).

Exceto no tratamento com lastragem e velocidade máxima na combinação de pressão P1, onde foi ultrapassado o limite de exposição, tornando necessária a adoção de medidas corretivas com urgência como redução da velocidade de operação, utilização da correta regulagem do assento, ou até mesmo a substituição do mesmo por

modelos eficientes, evitar superfícies muito irregulares ou com muitos obstáculos, além da possibilidade de substituição do trator em questão por outro modelo que apresente menores valores de vibração que incidem sobre operador.

Tabela 26. Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho (m s^{-2}) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento para a combinação de pressões P1.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	0,6 Ac	0,7 Ac	1,0 Ab	1,3 Aa
L2	0,7 Ab	0,8 Ab	0,8 Bb	1,0 Ba
L3	0,7 Ab	0,9 Aab	1,0 Aa	0,9 Ba
L4	0,7 Ab	0,8 Ab	0,8 ABab	1,0 Ba
F de Lastragem	4,59**			
F de Velocidade	73,63**			
F de Lastragem* Velocidade	8,14**			
CV(%)	9,34			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s^{-1} ; V2: 1,47 m s^{-1} ; V3: 1,75 m s^{-1} ; V4: 2,08 m s^{-1} .

Tabela 27. Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho (m s^{-2}) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento para a combinação de pressões P2.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	0,6 Cc	0,8 Bb	0,8 Bb	1,0 Aba
L2	0,8 Ab	0,8 ABb	0,8 Bb	1,0 Aa
L3	0,7 BCc	0,8 Bb	0,9 Aa	0,9 Ba
L4	0,7 ABc	0,9 Ab	1,0 Aa	1,0 ABa
F de Lastragem	25,11**			
F de Velocidade	200,71**			
F de Lastragem* Velocidade	11,51**			
CV(%)	4,74			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: 1,19 m s^{-1} ; V2: 1,47 m s^{-1} ; V3: 1,75 m s^{-1} ; V4: 2,08 m s^{-1} .

Tabela 28. Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho (m s^{-2}) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento para a combinação de pressões P3.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	0,7 Cc	0,7 Cb	0,8 Cb	1,0 Ba
L2	0,7 Bc	0,8 Bb	0,9 Bb	1,0 Aba
L3	0,7 Bc	0,8 Bb	1,0 Aa	1,0 Aba
L4	0,8 Ac	0,9 Ab	1,0 Aa	1,0 Aa
F de Lastragem	112,85**			
F de Velocidade	578,57**			
F de Lastragem* Velocidade	11,61**			
CV(%)	2,32			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Os demais tratamentos geraram valores menores que $1,15 \text{ m s}^{-2}$, o que implica na necessidade de intervenções com caráter preventivo para evitar possíveis lesões e problemas de saúde aos operadores, como adoção de menores velocidades de operação, treinamento e conscientização dos operadores sobre a importância da adoção de boas práticas de trabalho e da seleção correta das regulagens e condições de trabalho.

Os resultados obtidos demonstraram que a pista de vibração padronizada de 35 metros pode ser empregada como uma forma de avaliar os tratores para jornadas de trabalho de oito horas.

Santos Filho et al. (2003), em experimento utilizando diferentes marchas para deslocamento do trator durante operação de gradagem sobre solo arado, obtiveram valores de aceleração ponderada global bem acima dos limites determinados para uma exposição de 4 horas de trabalho, de acordo com a Norma ISO 2631 (1997), onde o emprego da terceira marcha resultou em uma aceleração ponderada global de $2,64 \text{ m s}^{-2}$, enquanto para a segunda marcha foi $2,10 \text{ m s}^{-2}$ e para a primeira marcha foi $1,73 \text{ m s}^{-2}$. Cunha et al. (2009), obtiveram resultados onde o limite para oito horas diárias de trabalho foi excedido, sendo que as piores situações ocorreram com as maiores acelerações ocorrendo no sentido de deslocamento do trator a medida que a rotação do motor foi aumentada. Para Scarlett et al. (2007), a maioria das empresas fabricantes de tratores agrícolas incorpora e utiliza sistemas e mecanismos para reduzir o efeito das vibrações sobre o operador.

Marsili et al. (2002), demonstraram que a adoção de sistemas de suspensão podem permitir um incremento superior a 50% no tempo de exposição do

operador ao trabalho. Lanças (2009) indicou que, com tratores agrícolas, somente em condições específicas de operação foi possível atingir as oito horas diárias de trabalho. Segundo Tosin (2009), a vibração incidente sobre o operador está diretamente relacionada com a velocidade de deslocamento do trator, sendo que em seu experimento apenas as velocidades médias de $1,0 \text{ m s}^{-1}$ e $1,4 \text{ m s}^{-1}$ permitiram uma jornada completa de 8 horas de trabalho, em pista de concreto. Para Metha et al. (2000), cada pesquisador possui uma visão diferente sobre qual o melhor procedimento para prever o desconforto ocasionado pela vibração em tratores agrícolas; porém, as Normas ISO 2631-1 (1997) e BS 6841 apresentam critérios para prever a vibração incidente sobre o operador.

4.9. Componentes principais da aceleração média resultante

Conforme pode ser visualizado nas Tabelas 29, 30 e 31, os valores de aceleração média dos três eixos (a_x , a_y e a_z), contribuíram de forma quase igualitária para definir a direção e o comportamento do primeiro componente, enquanto que, para o segundo componente, os valores do eixo y determinaram sua direção e comportamento. Isso implica que os valores de aceleração no eixo y foram responsáveis pelo comportamento da distribuição dos dados de forma mais efetiva que os demais eixos.

Tabela 29. Componentes principais para aceleração média resultante na combinação de pressões P1.

Eixo	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,601	-0,376
Y	0,526	0,851
Z	0,602	-0,368

Tabela 30. Componentes principais para aceleração média resultante na combinação de pressões P2.

Eixo	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,598	-0,326
Y	0,543	0,837
Z	0,590	-0,440

Tabela 31. Componentes principais para aceleração média resultante na combinação de pressões P3.

Eixo	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,591	-0,382
Y	0,550	0,835
Z	0,590	-0,395

Segundo Scarlett et al. (2007), as acelerações que ocorrem no eixo transversal y são dominantes durante a maior parte do desempenho das operações com tratores agrícolas, exceto nas atividades de deslocamento e transporte, quando as acelerações que ocorrem no eixo x passam a ser mais determinantes. Isto é corroborado por Marsilli et al. (2002), ao apresentarem grandes reduções nas vibrações incidentes sobre o operador quando são utilizados sistemas que atenuam a vibração nos eixos x e y em atividades que proporcionem baixa frequência de oscilação.

Scarlett et al. (2007), atribuem os maiores valores de acelerações no eixo y a menor capacidade dos assentos de tratores agrícolas atenuarem as vibrações neste sentido, sendo ainda a intensidade das vibrações dependente do tipo de operação realizada. Através das figuras 23, 24 e 25 pode-se visualizar que os valores de x e z apresentaram um comportamento muito semelhante, enquanto os relativos ao eixo y foram de sentido diferente dos demais eixos.

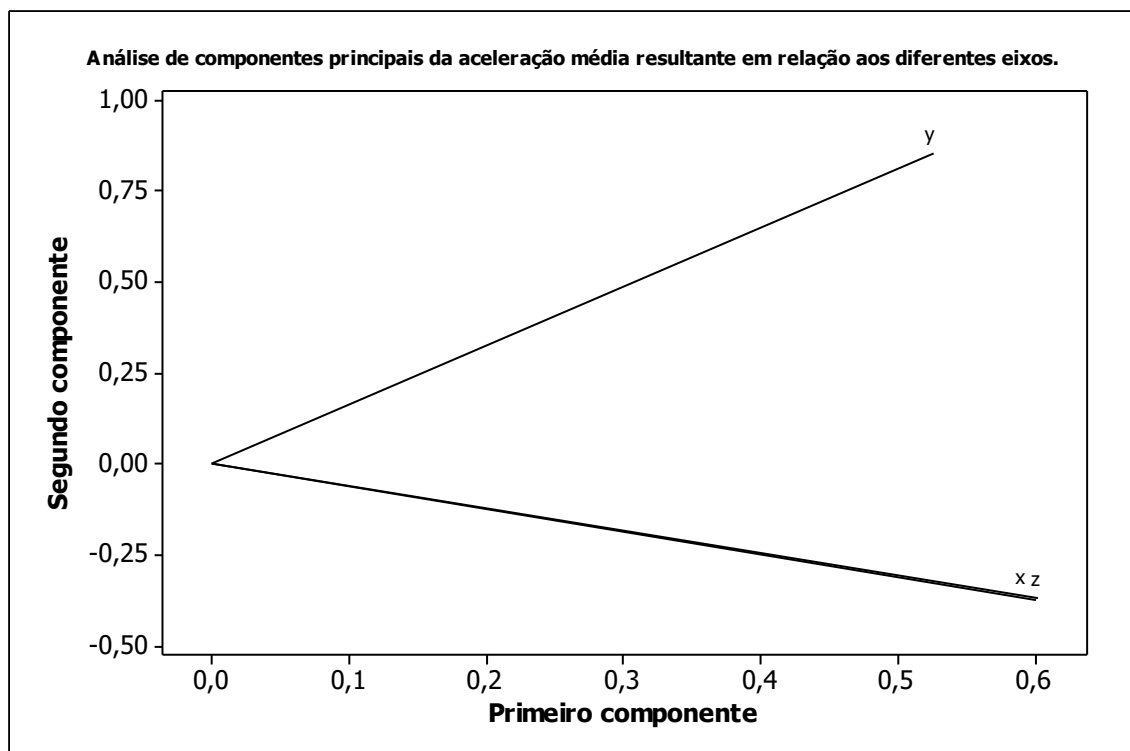


Figura 23. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P1.

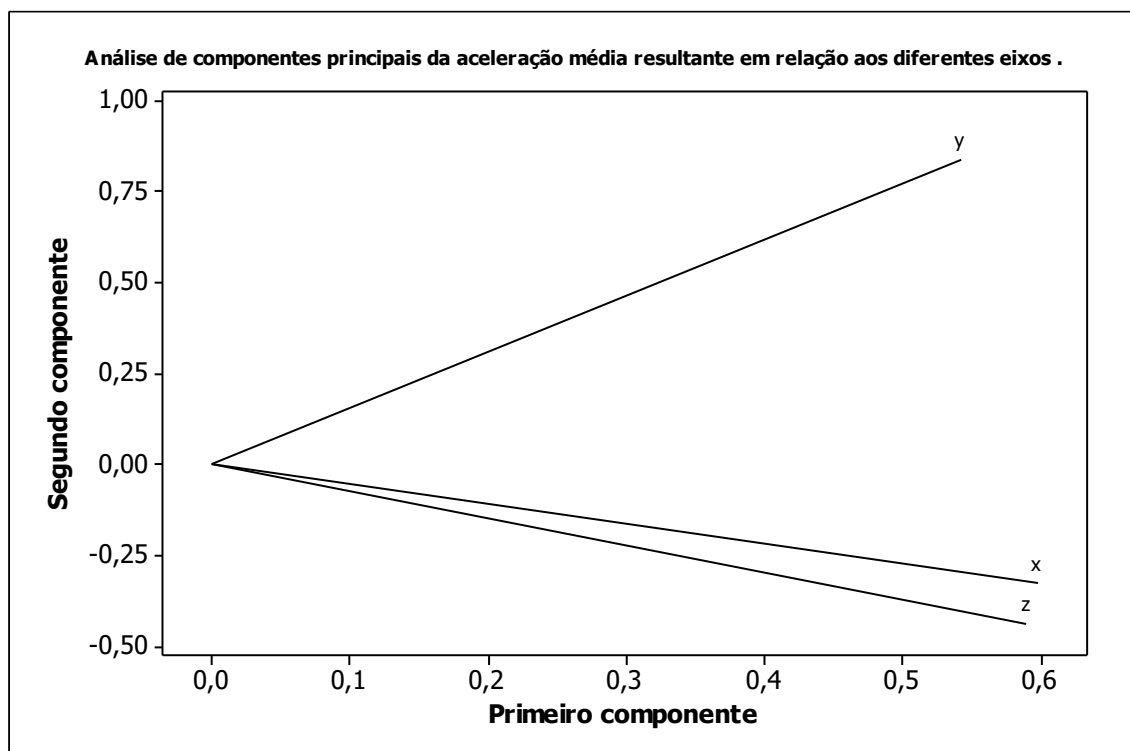


Figura 24. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P2.

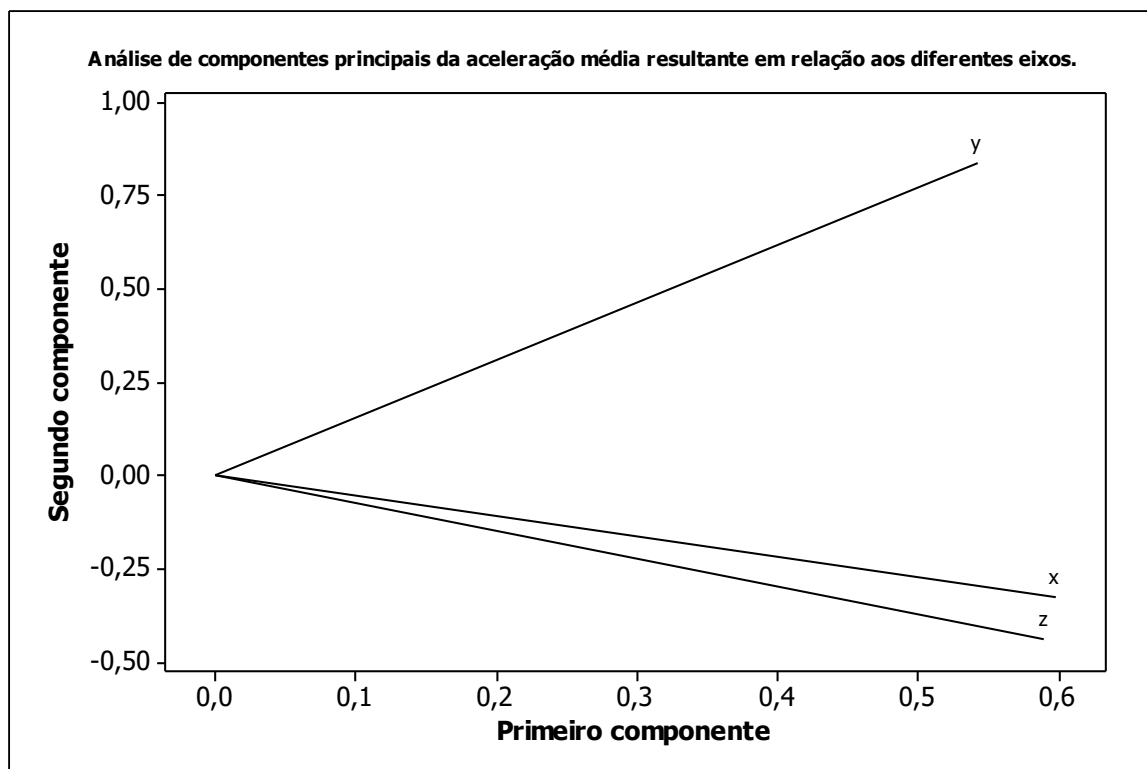


Figura 25. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P3.

Estes resultados são diferentes dos obtido por Cunha et al. (2009), onde os valores de acelerações no sentido de deslocamento do trator (eixo y) foram superiores aos encontrados nos demais eixos (x e z), ultrapassando os valores toleráveis apresentados na Norma ISO 2631-1 (1997) para atividades com arado e grade e em alguns casos atingiu valores não toleráveis.

As figuras 26, 27 e 28 mostram que os dados de aceleração média formam quatro grupos distintos, um para cada velocidade, nas três combinações de pressões, ocorrendo uma pequena sobreposição entre a velocidade V1 e V2. Portanto, as velocidades de deslocamento apresentaram influência direta sobre os valores de aceleração média resultante que incidiram sobre o corpo do operador durante o ensaio. É possível visualizar que as velocidades V1 e V2 seguem um comportamento semelhante enquanto as velocidades V3 e V4 apresentam um comportamento diferente das demais.

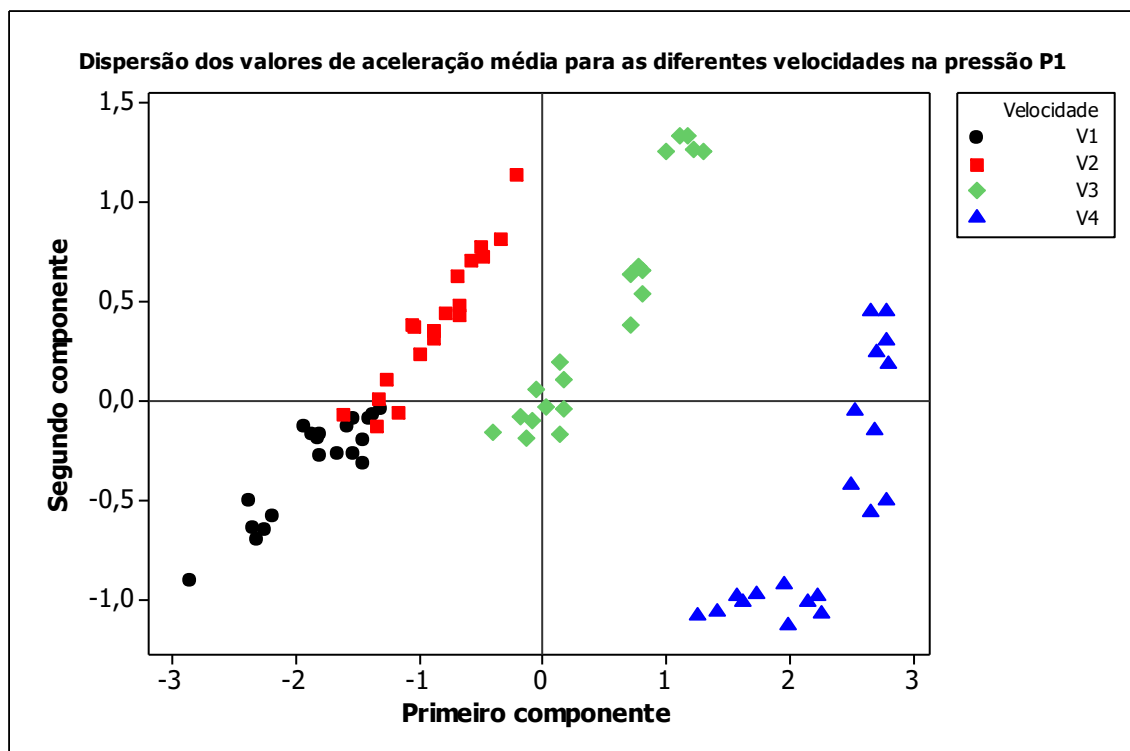


Figura 26. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P1. V1: 1,19 m s⁻¹; V2: 1,47 m s⁻¹; V3: 1,75 m s⁻¹; V4: 2,08 m s⁻¹.

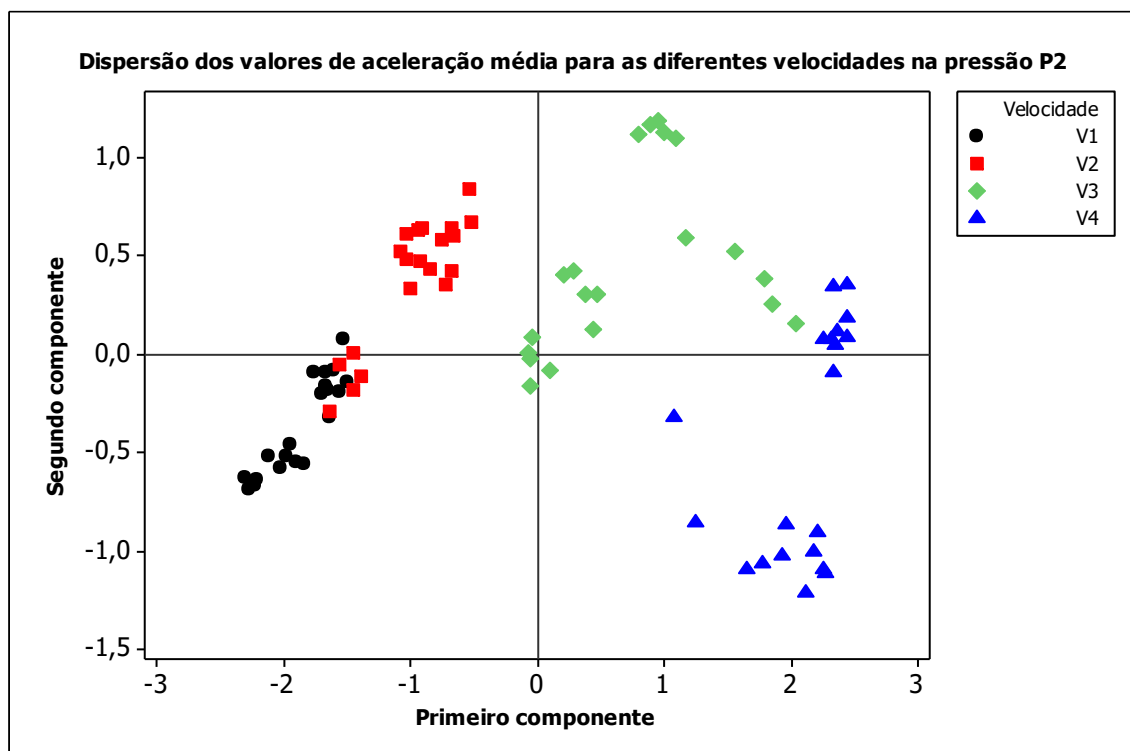


Figura 27. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P2. V1: 1,19 m s⁻¹; V2: 1,47 m s⁻¹; V3: 1,75 m s⁻¹; V4: 2,08 m s⁻¹.

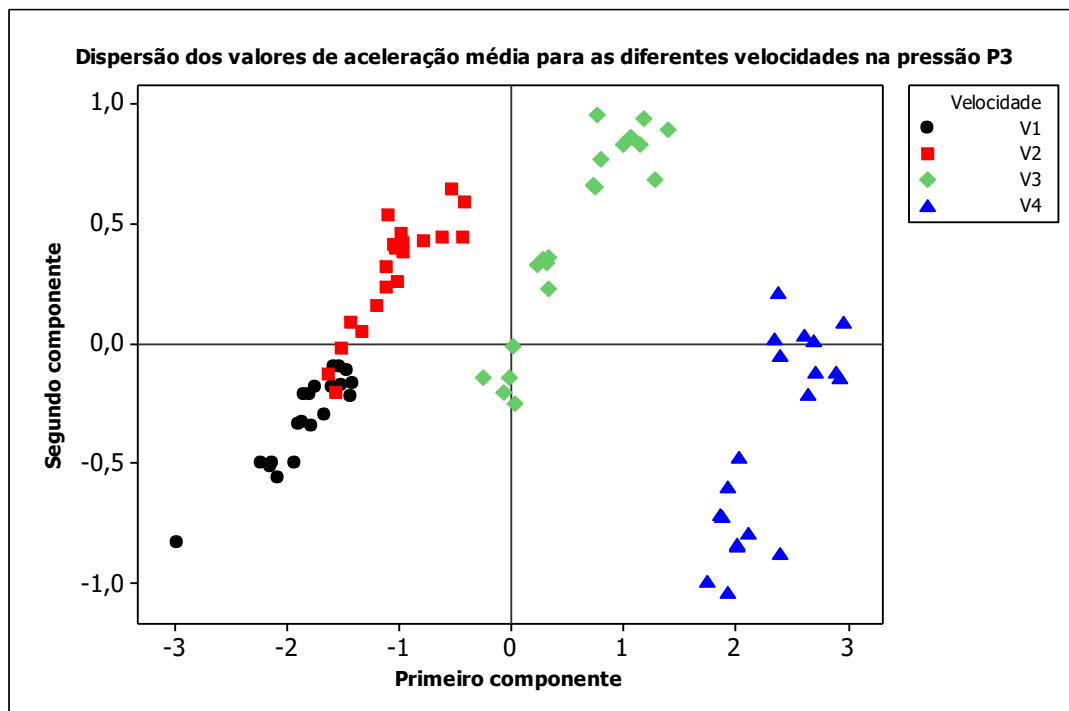


Figura 28. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P3. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Lines (1987) concluiu que a energia vibracional é dissipada pelos pneus, sendo diretamente proporcional ao aumento da velocidade de deslocamento. Segundo Hilton e Morani (1975), sistemas de suspensão das cabines de tratores permitem a adoção de velocidades de operação consideravelmente mais altas sem elevar os níveis de desconforto do operador e sem comprometer a segurança.

Ensaio realizados por Wedenborn (1966) demonstraram que a velocidade do trator apresenta diferentes efeitos sobre o nível de vibração de acordo com o tipo de superfície sobre o qual se está deslocando, obtendo-se reduções quando se opera em velocidades onde as vibrações ocorrem acima da frequência crítica de vibração do veículo, pois isso evita uma forte amplificação das oscilações.

Pinho et al. (2014), obtiveram diferentes acelerações entre as velocidades ensaiadas, onde o deslocamento a $4,5 \text{ km h}^{-1}$ resultou em acréscimo de 13,5% no valor das acelerações na direção vertical em relação a velocidade de $3,5 \text{ km h}^{-1}$. Zehsaz et al. (2011), também apontam relações positivas entre o aumento da velocidade de deslocamento e das vibrações no posto operacional. Lanças et al. (2009), em um experimento variando a potência do trator, o tipo de pista de deslocamento, a pressão de inflação dos

pneus e a velocidade média de deslocamento obteve resultados que indicaram que o aumento da velocidade de deslocamento elevou os níveis de vibração transmitida ao operador.

Nas três combinações de pressões, a distribuição dos dados de aceleração média resultante para os diferentes níveis de lastragem estão apresentados nas Figuras 29, 30 e 31.

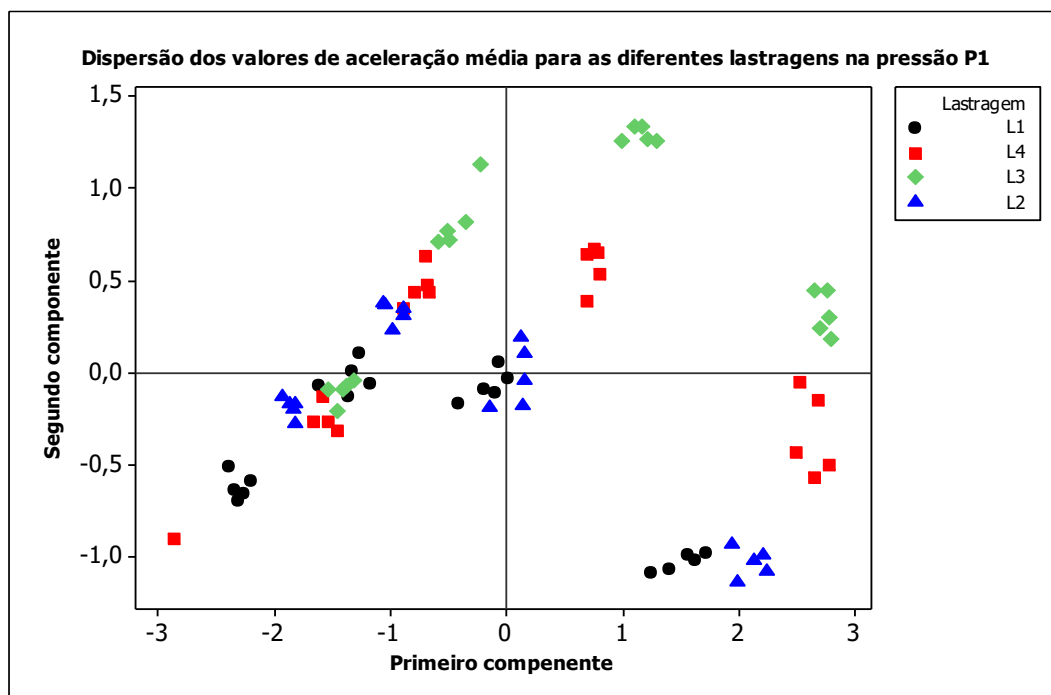


Figura 29. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P1. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais.

Através dos gráficos é possível visualizar que as acelerações médias para as diferentes lastragens seguem uma distribuição semelhante nas três pressões, exceto para a lastragem L4 na combinação de pressões P1 e L3 na combinação P2. Isso demonstra que as diferentes lastragens seguem um comportamento parecido ao da velocidade de deslocamento independente da pressão empregada no ensaio. Pinho et al. (2014), concluíram através de seu experimento que o emprego de lastragem metálica total ocasionou as menores magnitudes de acelerações, independente das direções, se comparado com as demais lastragens utilizadas no ensaio.

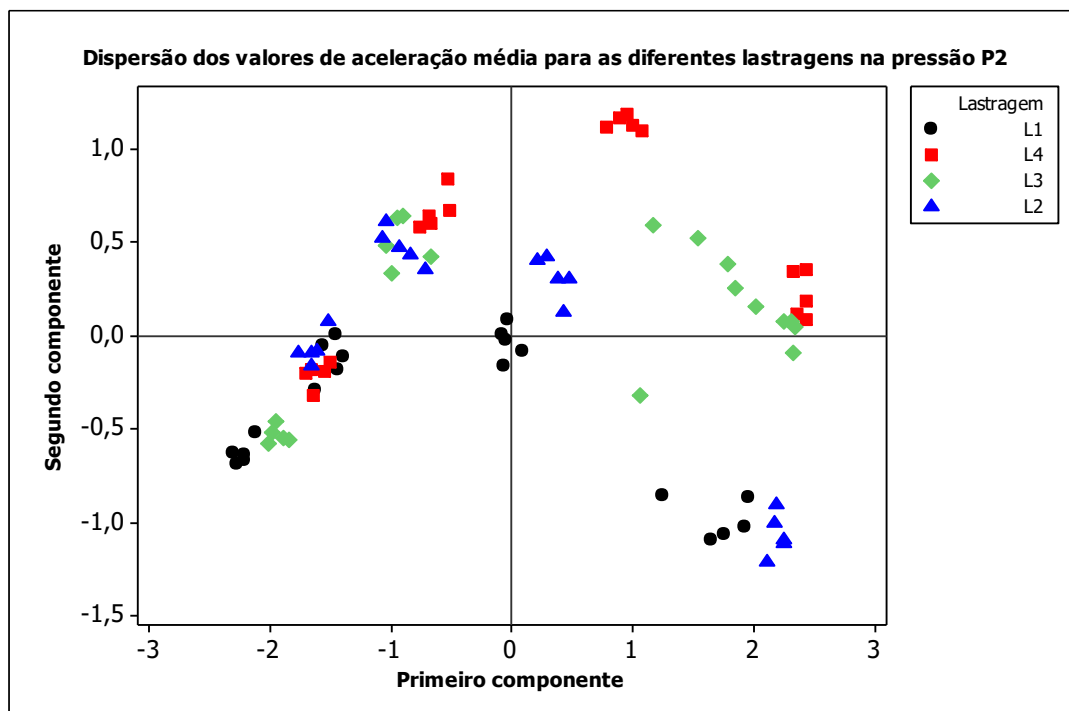


Figura 30. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P2. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais.

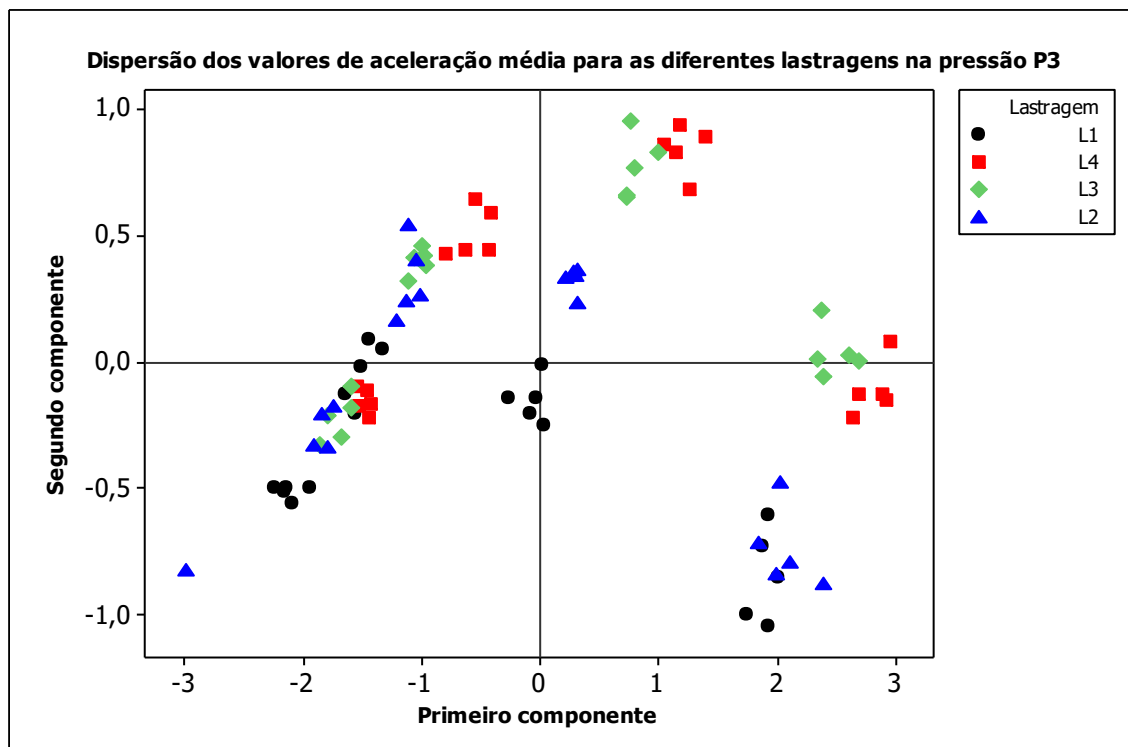


Figura 31. Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P3. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais.

4.10. Análise de Componentes Principais do Valor de Dose de Vibração

As Tabelas 32, 33 e 34 apresentam os resultados de dose de vibração, sendo que os três eixos (a_x , a_y e a_z) contribuíram de forma quase igualitária para definir a direção e o comportamento do primeiro componente, enquanto que, para o segundo componente, os valores do eixo y determinaram sua direção e comportamento.

Tabela 32. Componentes principais para o valor de dose de vibração na combinação de pressões P1.

Eixo	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,606	-0,322
Y	0,527	0,848
Z	0,597	-0,422

Tabela 33. Componentes principais para o valor de dose de vibração na combinação de pressões P2.

Eixo	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,598	-0,326
Y	0,542	0,837
Z	0,590	-0,440

Tabela 34. Componentes principais para o valor de dose de vibração na combinação de pressões P3.

Eixo	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,591	-0,397
Y	0,549	0,836
Z	0,592	-0,379

Através das figuras 32, 33 e 34 pode-se verificar que os componentes x e z apresentaram o mesmo comportamento para o valor de dose de vibração, enquanto o componente y apresentou outra direção indicando um comportamento diferente das outras duas. Esse comportamento é o mesmo daquele encontrado para a aceleração média resultante.

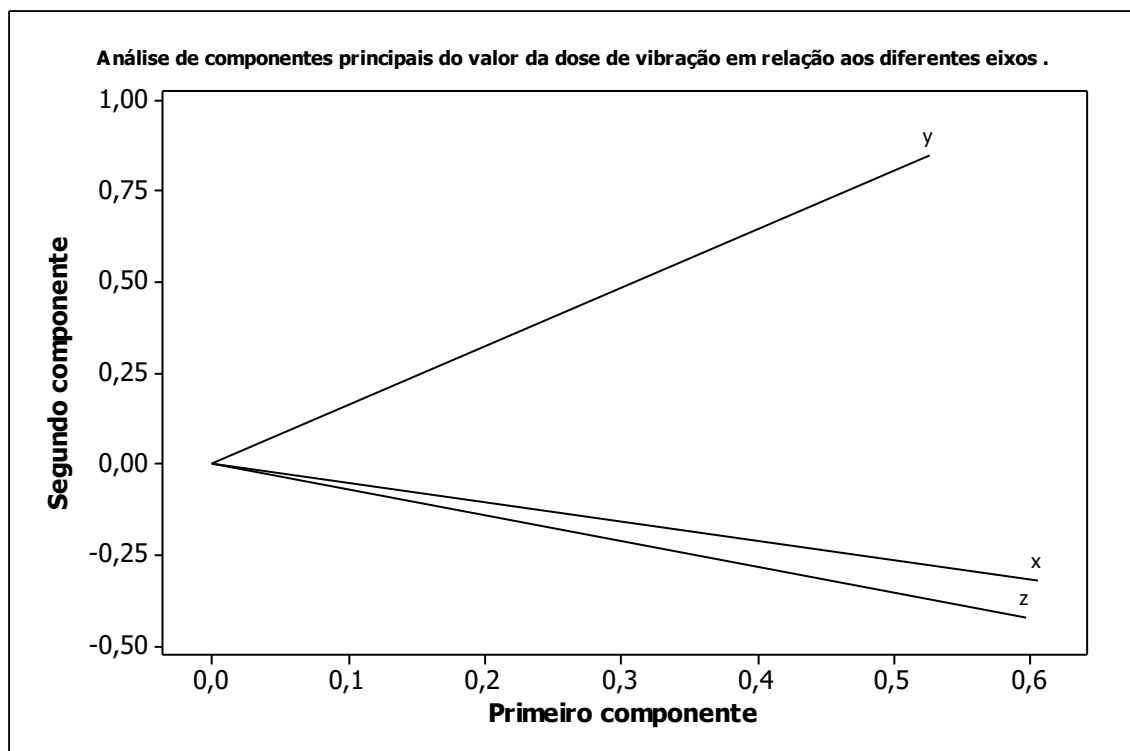


Figura 32. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P1.

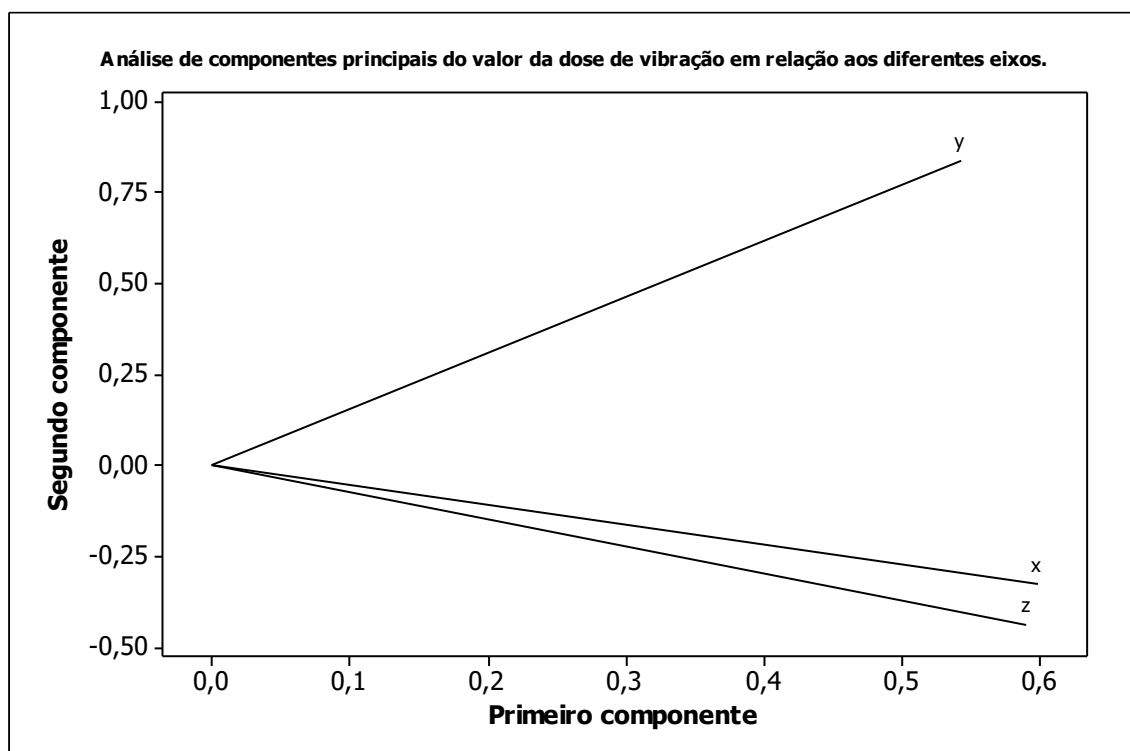


Figura 33. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P2.

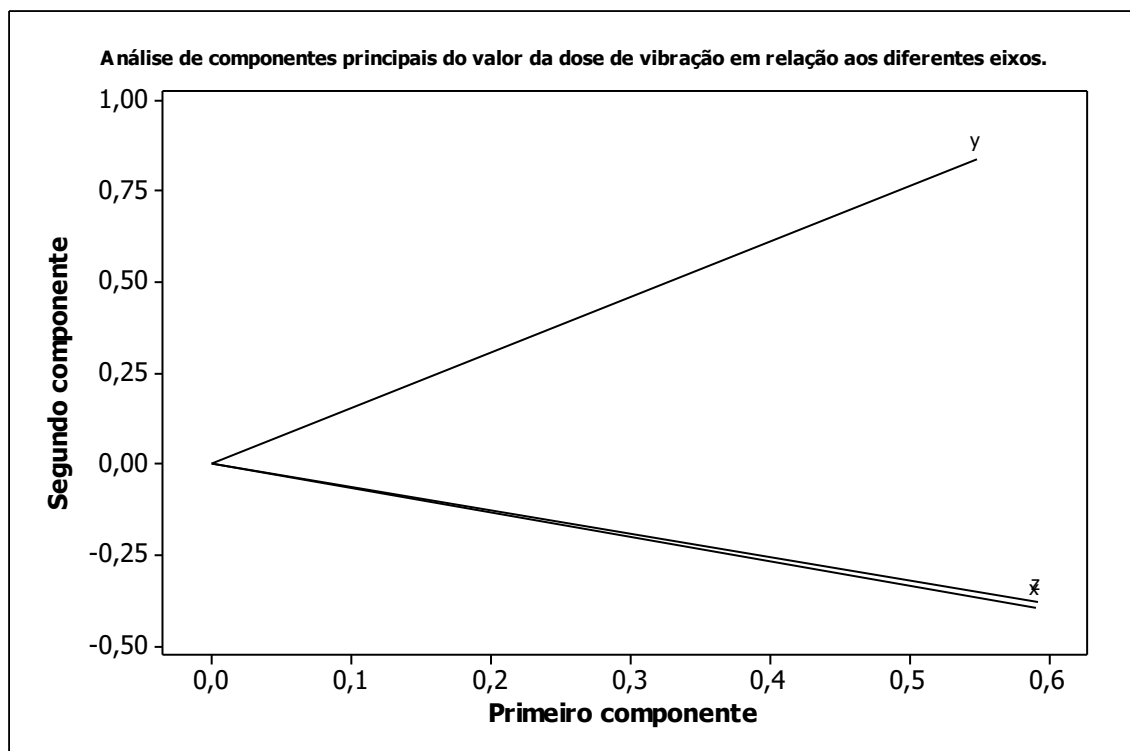


Figura 34. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos (a_x ; a_y e a_z) na combinação de pressões P3.

Através das figuras 35, 36 e 37, observa-se que os dados se agrupam de forma semelhante ao que foi encontrado para a aceleração média resultante nas três combinações de pressões de acordo com a velocidade de deslocamento, ocorrendo uma pequena sobreposição entre a velocidade V1 e V2 em todas as combinações de pressões, e entre a velocidade V3 e V4 na combinação P2.

Barceló et al. (2004), concluíram que as baixas pressões de inflação não permitiram que os pneus pudessem amortecer as vibrações verticais de forma eficaz, sendo relatado que nas velocidades de 7 e 12 km h⁻¹, o efeito da regulagem do assento é imperceptível, podendo-se notar os efeitos da mesma a partir da velocidade de 20 km h⁻¹.

A distribuição dos dados indica que a velocidade apresentou grande influência nos valores de dose de vibração obtidos no ensaio devido à formação de grupos quase totalmente distintos, sendo os dados da velocidade V1 e V2 com um comportamento semelhante enquanto nas velocidades V3 e V4 são totalmente diferentes dos demais. Isso pode indicar uma interação diferente entre os fatores que geram e afetam a condução e distribuição das vibrações pelo trator até o operador.

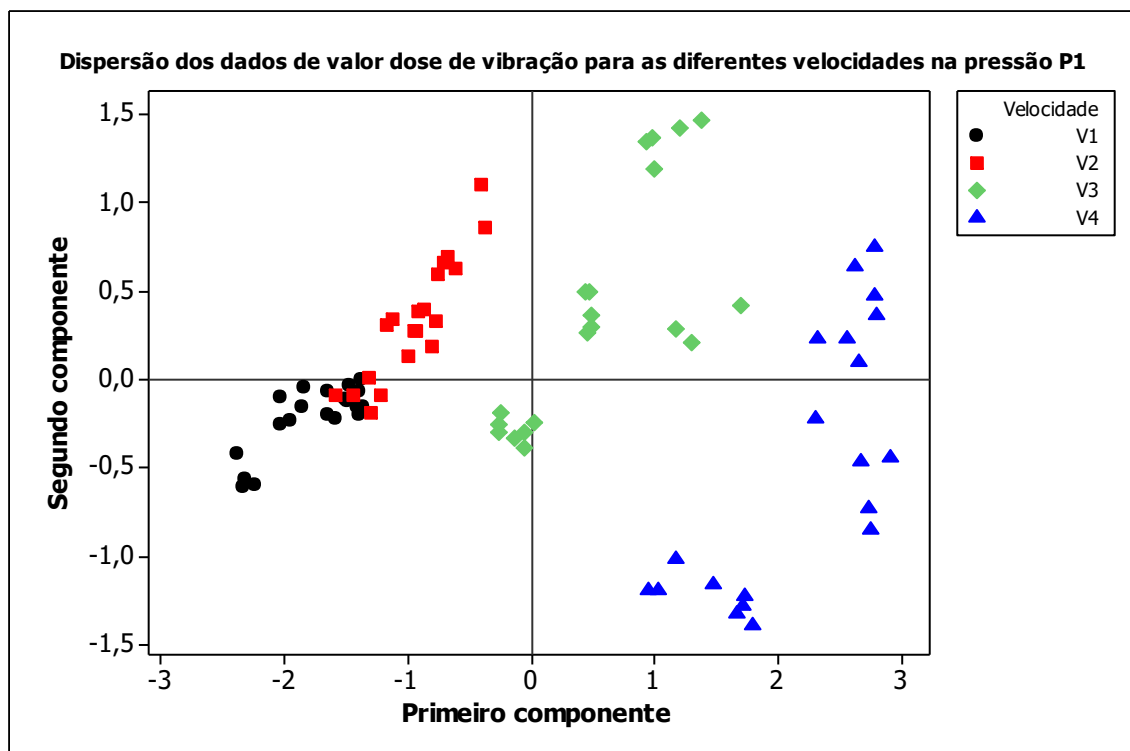


Figura 35. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P1. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

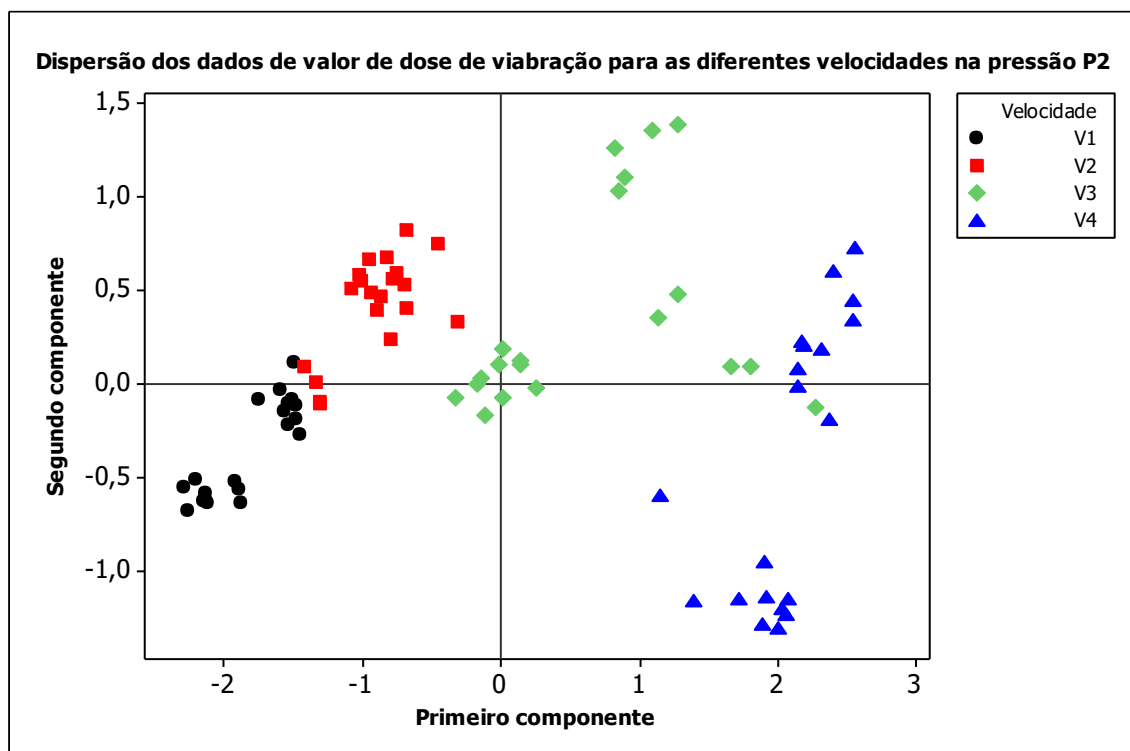


Figura 36. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P2. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

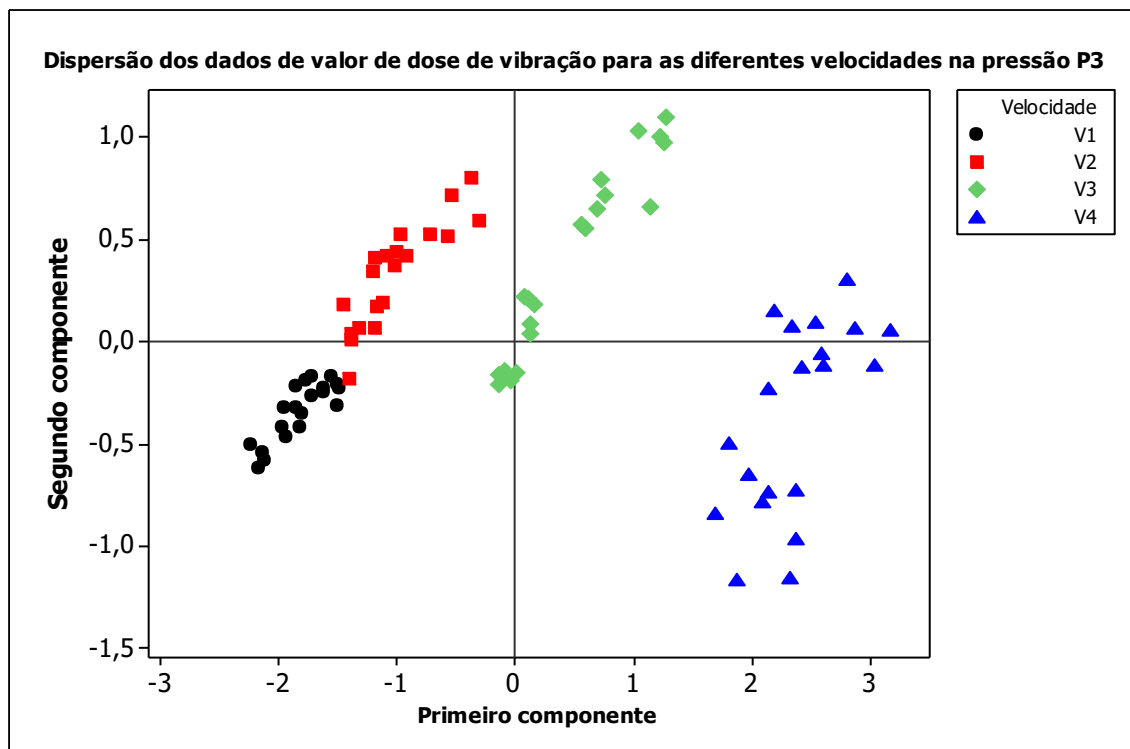


Figura 37. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P3. V1: $1,19 \text{ m s}^{-1}$; V2: $1,47 \text{ m s}^{-1}$; V3: $1,75 \text{ m s}^{-1}$; V4: $2,08 \text{ m s}^{-1}$.

Nas três combinações de pressões as distribuições dos dados de aceleração média resultante das diferentes lastragens estão apresentadas nas Figuras 38, 39 e 40. Na combinação de pressões P1 e P2 os dados de valor de dose de vibração apresentam uma distribuição mais desuniforme em relação a P3, o que indica uma distribuição mais ampla dos valores. Isso pode ser fruto da interação entre os diversos fatores estudados (pressão de inflação, lastragem e velocidade de deslocamento) com o os demais componentes da máquina e a pista de vibração pode ter influenciado os resultados.

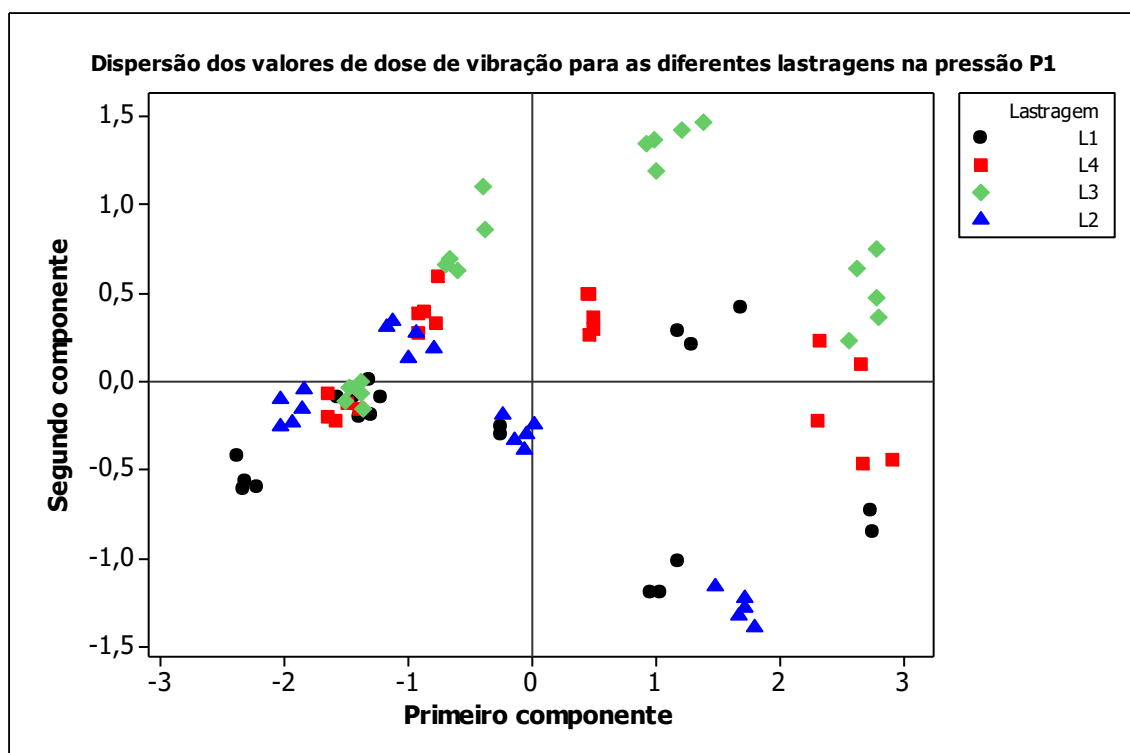


Figura 38. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes lastragens na combinação de pressões P1. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais.

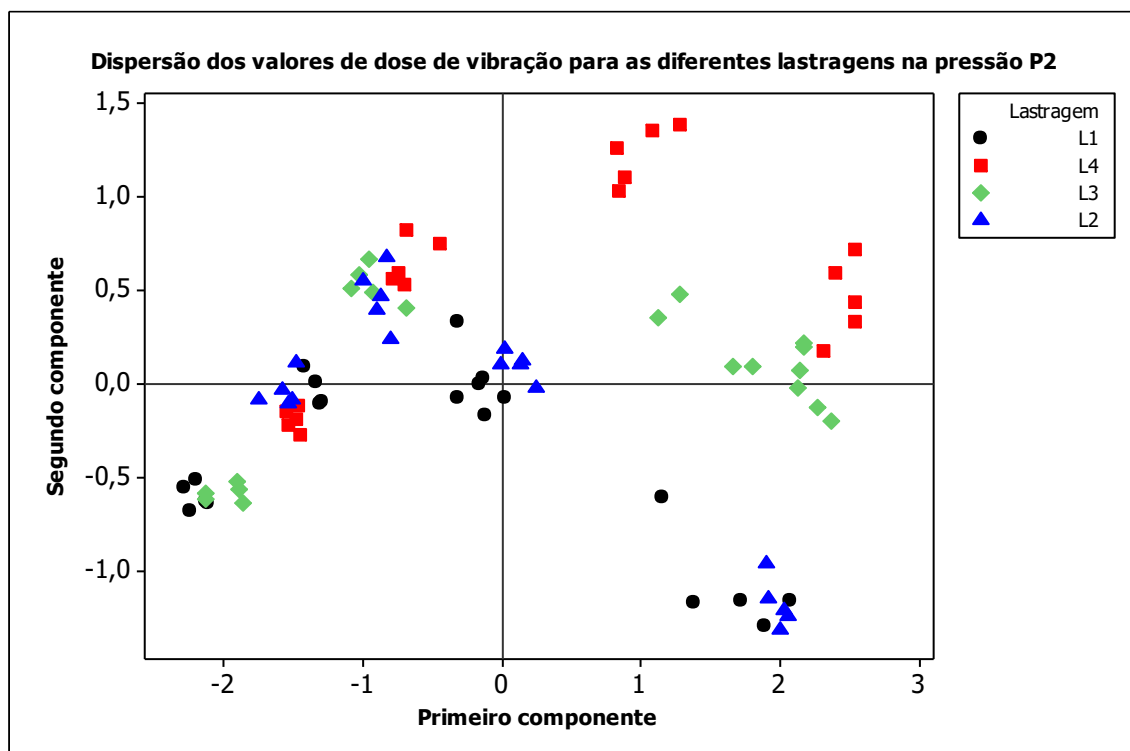


Figura 39. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P2. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais.

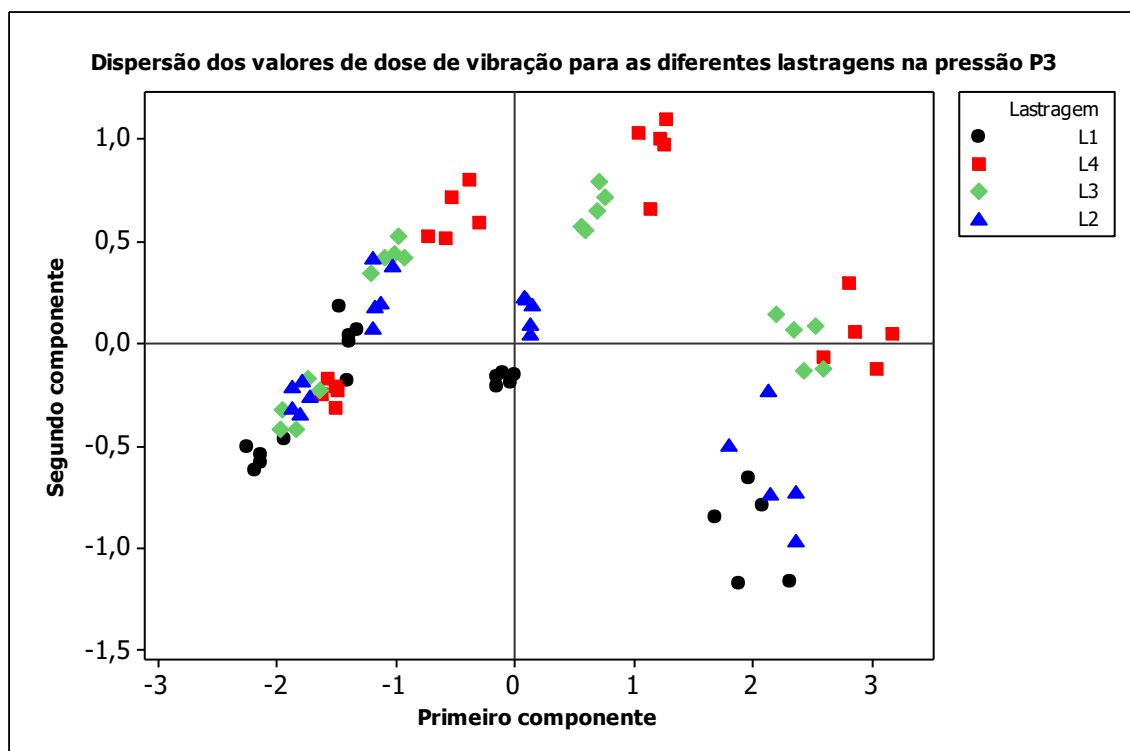


Figura 40. Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação as diferentes velocidades na combinação de pressões P3. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais.

5 CONCLUSÕES

As combinações de pressões de inflação utilizadas nos ensaios não apresentaram influência nos resultados encontrados.

As menores velocidades de deslocamento do trator resultaram nas melhores condições de conforto em relação a vibração do corpo do operador enquanto as maiores velocidades geraram as piores condições de trabalho em todos os parâmetros avaliados, exceto para a aceleração mínima resultante.

A lastragem máxima do trator ocasionou as condições menos prejudiciais ao operador quando combinada com as menores velocidades de deslocamento do trator.

Ocorreram valores de fator de crista maior que nove, indicando a ocorrência de picos de vibração e a necessidade de avaliação pelo valor de dose de vibração.

Nas três combinações de pressões todos os níveis e tipos de lastragem na velocidade V1 e a lastragem máxima (L1) na velocidade V2 apresentam valores de dose de vibração abaixo do nível de ação, enquanto os demais tratamentos estão acima do nível de ação ou na região de incerteza, sem chegar ao limite de exposição.

Na projeção de dose para oito horas de trabalho, todos os tratamentos se encontraram acima do nível de ação ou na região de incerteza, exceto o tratamento com

lastragem máxima (L1) e maior velocidade na combinação de pressões P1, cujo valor excedeu o limite de exposição.

Tanto para a aceleração média resultante quanto para o valor de dose de vibração o primeiro componente do gráfico foi determinado pelos valores dos três eixos analisados (x, y e z), enquanto o segundo componente sofreu maior influência dos valores do eixo y.

A velocidade de deslocamento do trator apresentou maior influência do que a lastragem na aceleração média resultante e no valor de dose de vibração pois para cada velocidade foram encontrados grupos distintos na análise de componentes principais.

6 REFERÊNCIAS

ADACHI, H.; et al.. Reduction of vibration and noise of tractor cabin using active mass damper. **JSAE Review**, Tokyo : Society of Automotive Engineers of Japan, inc., 1996;17. 91–91.

ANFLOR, C. T. M.. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biomecânico de quatro graus de liberdade**. 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ALVES, E.; MANTOVANI, E.C.; OLIVEIRA, A. J.. Benefícios da mecanização na agricultura. **Agroanalysis**, São Paulo - SP, vol. 25 n. 10, out. 2005, pp. 38-42.

AREND, L.; FORCELLINI, F. A.; WEISS, A.. Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal - São Paulo, 2005, vol.25, n.3, pp. 801-808. ISSN 0100-6916.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12319; medição da vibração transmitida ao operador – tratores agrícolas de rodas e máquinas agrícolas**. Rio de Janeiro. 1995. 13 p.

BACK, N.. **Metodologia de projetos de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 389 p.

BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde**. 281 f. Tese (Doutorado em Biomecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BARBOSA, R. R.; SANTOS, J. E. G. DOS; DEGANUTTI, R. Assento para trator: projeto ergonômico. **XIII SIMPEP** – Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006.

BARCELÓ, L. E. et al.. **Efecto de diferentes presiones de inflado y regulaciones de lasiento sobre las vibraciones de cuerpo entero em tractores agrícolas**. Instituto de Ingenieria Rural Inta Cautelar, Hurlingham - Província de Buenos Aires. 2004. 10p.

BECKER, T.. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano**. 2006. 198f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

BERASATEGUI, M. R.. **Modelización y simulación del comportamiento de um sistema mecánico con suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas**. 2000. 259 f. Tese (Doctorado En Ingenieria Mecánica) – Departamento de Ingenieria Mecánica, Universidad Politécnica de Madri, Madri, 2000.

BOUAZARA, M., RICHARD, M. J., RAKHEJA, S. Safety and comfort analysis of a 3-D vehicle model with optimal non-linear active seat suspension. **Journal of Terramechanics**. Silsoe – UK. 43: 97-118. 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Atividade e operações insalubres. NR 15 - Atividades e operações insalubres. Disponível em: < <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14EAE840951/NR-15%20%28atualizada%202014%29.pdf> >. Acesso em 22 de abril de 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Atividade e operações insalubres. NR 15 – Anexo 8: Vibrações. Disponível em: < <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14CDC9C6FC1/NR-15%20%28Anexo%20n.%C2%BA%2008%29%20Vibra%C3%A7%C3%B5es%20%282014%29.pdf> >. Acesso em 22 de abril de 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Atividade e operações insalubres. NR 31 - Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária silvicultura, Exploração florestal e aquicultura. Disponível em: < <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A4295EFDF0143067D95BD746A/NR-31%20%28atualizada%202013%29.pdf> >. Acesso em 22 de abril de 2015.

CAÑAVATE, J. O.. **Técnica de la mecanización agraria: tractores i aperos de labranza y de cultivo**. Madrid: Ministerio de agricultura. Imprenta Aguirre. 1975. 324p. ISBN 84-500-7341-3.

CAÑAVATE, J. O.. **Tractores. Técnica y Seguridad**. Madrid: Mundi-Prensa Libros S.A, 2005. 212p.

CHANEY, R. E.. **Subjective reaction to wholebody vibration**. Boeing Company, Human Factors Technical Report D3, p. 64-67, Wichita, Kansas. 1964.

CORDEIRO, M. A. L.. **Estudo do efeito de lastragem no desempenho de um trator agrícola**. Botucatu, 1994, 112 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CUNHA, J. P. A. R. DA;; DUARTE, M. A. V.; SOUZA, C. M A. DE. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **IDESIA**. Tarapacá (Chile) Volumen 30, N° 1, Enero-Abril, 2012

CUNHA, J. P. A. R. DA; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trato r agrícola em prepa ro de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 348-355, out./dez. 2009. ISSN 1517-6398/ e-ISSN 1983-4063

DHINGRA, H. S.; TEWARI, V. K.; SANTOKH, S.. Discomfort, pressure distribution and safety in operator's seat – a critical review. **Journal of Scientific Research and Development**. UK, 2003. 16 p.

DUKE M, GOSS G. Investigation of tractor driver seat performance with non-linear stiffness and on-off damper. **Biosystems Engineering**. UK. 2007;96(4):477–86.

EBE, K.; GRIFFIN, M. J.. Effect of polyurethane foam on dynamic sitting comfort, in proceeding of inter noise. **International Congress on Noise Control Engineering**, Poughkeepsie, NY, p. 205-210. 1994.

FERNANDES, H. C., et al.. Vibração em tratores agrícolas: caracterização das faixas de frequência no assento do operador. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa. v. 11, n. 1-4, p. 23-31. Jan-dez. 2003.

FERREIRA, M. F. P.; et al.. Análise das pressões internas de pneus utilizados em tratores agrícolas 4x2 e 4x2 com TDA novos e usados. In: Congresso Internacional de Engenharia Agrícola, 2006. **Anais**. Chillán, 2006. CD Rom.

FRANCHINI, D.. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013. 63 p. il., tabs. ; 23 cm. ISBN 85-98117-75-1

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P.. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Fundação de estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996. p. 463-514.

GERGES, S. N. Y.. **Ruído: Fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: Nr Editora, 2000. 676 p.

GRIFFIN, M. J.. A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. **Journal of Sound and Vibration**, UK, p. 883-914. 1998.

HILBERT, J.; BARCELÓ, L.; AUCANA, M.. Estudio de impacto utilizando diferentes presiones de inflado sobre las vibraciones de cuerpo intero en tractores agrícolas. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33. 2002. São Pedro, SP. **Anais**. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD Rom.

HILTON, D. J.; MORANI, P. Experiments in Improving Tractor Operator Ride by Means of a Cab Suspension **Journal of Agricultural Engineering Research**. UK. n° 20, p 433-448. 1975.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 2631: "Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration"**. Geneva, Switzerland: International Standard, 1978. 18 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 2631-1: "Evaluation of human exposure to whole body vibration. Part 1: General requirement"**. Geneva, Switzerland: International Standard, 1985. 17 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **2631-1: “Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to wholebody vibration – Part I: general requirements”**. Geneva, Switzerland: International Standard, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **5008:2002. Agricultural wheeled tractors and field machinery – measurement of whole-body vibration of the operator**; Geneva, Switzerland, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 8041 – Resposta humana à vibração – Instrumento de medição**. Geneva, Switzerland, 2005. 91 p.

KAHIL, M. A.; GAMERO, C. A.. Níveis de ruído: Avaliação ergonômica de alguns tratores e equipamentos agrícolas. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 12, n.3, p. 46-53. 1997.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E.. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. 5ª Ed. Artmed Editora. Porto Alegre. 2005. 327 p.

KUMAR, A., et al.. Tractor vibration severity a driver healt: a study from rural India. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Pavia, Italy, 2001. 80 (4): 313–328.

LANÇAS, K. P.; UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores: Guia para a seleção correta da pressão de inflação**. Energia na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico no 1.

LANÇAS, K. P.. Elementos básicos para adequação de conjuntos mecanizados. In: MONTEIRO, L. A.; SILVA, P. R. A. **Operação com tratores agrícolas**. Botucatu: Edição dos Autores, 2009. p. 59-74.

LINES, J. A. RIDE vibration of agricultural tractors: transfer functions between the ground and tractor body, **Journal of Agricultural Enginerring Researh**. UK. nº 37, p. 81 91 1987.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R. Y.. Automação do processo de avaliação do desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 7, p. 1241-46, jul. 1999.

MÁRQUEZ, L.. **Solo tractor'90: Ergonomia y seguridad en los tractores**. Madri: Labore, 1990. 231 p.

MARSILI, A.; et al.. Innovative Systems to reduce Vibrations on Agricultural Tractors: Comparative Analysis of Acceleration transmitted through the Driving Seat. **Biosystems Engineering**. UK. (2002). v. 81, pp: 35 – 47. doi:10.1006/bioe.2001.0003. ISSN: 1537-5110

MEHTA, C. R.; TEWARI, V. K.. Seating discomfort for tractor operators: a critical review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Silsoe - UK, p. 661-674. 2000.

MEHTA, C. R.; SHYAM, M.; VERMA, R. N., Ride vibration on tractor-implement system. **Applied ergonomics**. Silsoe, p. 323-328. 2000.

MIALHE, L. G.. **Maquinas agrícolas: ensaios e certificados**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p. ISBN 85-7133-001-0

MIALHE, L. G.. **Máquinas Motoras na Agricultura**. Piracicaba: EDUSP, 1980. Vol. 1 e 2.

MIALHE, L. A.. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU: USP, 1974. 367p.

MONTEIRO, L. De A.. **Desempenho operacional e energético, segundo a Norma OCDE – CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em pista de concreto e solo agrícola**. Tese (Doutorado) UNESP. Botucatu. 2011. 85p.

NAGAOKA, A. K.. **Avaliação do desempenho de um equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola individual**. Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista – Botucatu - SP, 2001.

NAGAOKA, A. K.; et al.. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

NGUYEN, V. N.; INABA, S. Effects of tire inflation pressure and tractor velocity on dynamic wheel load and rear axle vibrations. **Journal of Terramechanics**, Silsoe – UK. v. 48, n. 1, p. 3-16, 2011. ISSN: 0022-4898

NIETIEDT, G.H. et al.. Distribuição dos comandos de operação em tratores agrícolas nacionais com até 55kW de potência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.16, n.6, p.690-695, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600015>>. Acesso em: 26 jan. 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662012000600015.

PADDAN, G. S., GRIFFIN, M. J. 2002 Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. **Journal of Sound and Vibration**. v.253 (1). pp: 215-241. Sheffield-UK.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 10 ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987. 430p.

PINHO, M. DA S.; et al.. Efetividade de um coxim de cabina do trator agrícola na atenuação das vibrações. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 461-468, jul-set, 2014 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE ISSN 1806-6690.

PINHO, M. DA S.; et al.. Acelerações eficazes na interface assento-operador de um trator. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.10, p.1797-1803, out, 2014. ISSN 0103-8478

PRASAD, N.; TEWARI, V. K.; YADAV, R.. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe - UK, p. 205-219. 1995. ISSN: 0022-4898

RAO, S. S. **Vibrações mecânicas**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.424p.

RIBAS, R. L.; et al.. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.9, p.1589-1595, set, 2014. ISSN 0103-8478

ROTH, C.W.. **Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas**. 2010. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

ROZIN, D. **Conformidade do posto de operação de tratores agrícolas nacionais com normas de ergonomia e segurança**. 2004. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C.; AMARAL, L. S.. **Higiene do trabalho**: Programa de prevenção de riscos ambientais. 3. ed. São Paulo: Ltr, 2002. 262 p.

SANTOS, P. F. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados**. 2002. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós Graduação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

SANTOS, L. N. dos; et al.. Avaliação Dos Níveis De Ruído E Vibração De Um Conjunto Trator-Pulverizador, Em Função Da Velocidade De Trabalho. Viçosa: **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, 2014.

SANTOS FILHO, P. F. et al.. Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.

SCARLETT, A. J., PRICE, J. S., STAYNER, R. M. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. **Journal of Terramechanics**. Silsoe – UK. v. 44. pp: 65-73. 2007. ISSN: 0022-4898

SCHLOSSER, J. F.; et al.. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 92-97, jan/fev. 2005.

SCHLOSSER, J. F.; LINARES, P.; MÁRQUEZ, L.. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1801-1805, nov/dez. 2004.

SCHLOSSER, J.F. **Máquinas agrícolas A**. Santa Maria: UFSM, 2002. 207 p.

SCHLOSSER, J. F; MARQUEZ, L.; LINARES, P. Desenvolvimento de metodologia para previsão do fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos de um trator com tração dianteira auxiliar (TDA). **Ciência Rural**. 2001, vol.31, n.6, pp. 985-989. ISSN 1678-4596

SCHROTTMAIER, J.; NADLINGER, M.. **Investigation and optimization of the vibration characteristics of tractors with front-axle suspension and cab suspension**. Federal Institute of Agricultural Engineering (BLT); Rome – Italy, 2000.

SELL, I.. **Projeto do trabalho humano: Melhorando as condições de trabalho**. Florianópolis: UFSC, 2002. 470 p.

SERRANO, J. M. P. R.. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 1021-1027, jul. 2007.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, E N.P.. Analysis of the driving seat vibrations in high forward speed tractors. **Biosystems Engineering**, Amsterdã –ND, 2007, 97 (2): 171–180.

SILVA, C.B. et al.. Avaliação ergonômica de uma colhedora de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v.35, n.1, p.179-185, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000100023>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2015. doi: 10.1590/ S1413-70542011000100023.

SOEIRO, N.S.. Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional. **I Workshop de Vibrações e Acústica**. Tucuruí, Pa., AGOSTO/2011. 10 p.

TAMBOLI, J. A; JOSHI, S. G.. Optimum design of a passive suspension system of a vehicle subjected to actual random road excitations. **Journal of Sound and Vibration**, Amstedã, 1999; 219 (2):193–205.

TIEMESSEN, I. J.; HULSOFF, C. T. J.; FRINGS -DRESEN, M. H. W. An overview of strategies to reduce wholebody vibration exposure on drivers: a systematic review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdã, v. 37, n. 3, p. 245-256, 2007

TOSIN, R. C.. **Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas**. 2009. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, 2009.

UPADHYAYA, S.K., WULFSOHN, D.. An overview of tractionn research at University of California, Davis. Calif. **Agriculture**. Basel, Switzerland, v.43, n.2, p 15-17, 1989.

VENDRAME, A. C.. Vibração ocupacional. 2006. Disponível em <http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf> Acesso em 14 fev. 2015.

WENDENBORN, J. G. The irregularities of farm roads and fields as sources of farm vehicle vibrations. **Journal of Terramechanics**, UK. 1966, Vol. 3, No. 3, pp. 9 to 40.

WOYCIK, I.; et al.. **La vibración em los tractores agrícolas**: Estudio de impacto utilizando diferentes presiones de inflado en los neumáticos. Instituto de Ingenieria Rural Inta Cautelar. Hurlingham - Provincia de Buenos Aires, 2004. 10 p.

YADAV, R.; TEWARI, V. K.. Tractor operator seat workplace design: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe - UK, p. 41-53. 1998. ISSN: 0022-4898

ZEHSZ, M., et al.. Tractor cabin's passive suspension parameters optimization via experimental and numerical methods. **Journal of Terramechanics**, Amsterdã, 2011. 48, 439–450. ISSN: 0022-4898.

7 ANEXOS

7.1. Anexo 1 – Certificado de calibração do equipamento de aquisição de dados.

~ Calibration Certificate ~
Per ISO 16063-21

Model Number: SEN027

Serial Number: P145464 (y axis)

Description: ICP® Triaxial Accelerometer

Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT401-12

Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz: 100.0 mV/g Output Bias: 4.0 VDC
(10.20 mV/m/s²) Transverse Sensitivity: 3.3 %

Sensitivity Plot

Temperature: 73 °F (23 °C) Relative Humidity: 56 %

Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
0.5	0.3	10	-0.1	70	-0.3
1	0.7	15	-0.2	REF. FREQ.	0.0
2	0.5	20	-0.5		
5	0.1	30	-0.7		
7	-0.1	50	-0.8		

Mounting Surface: Aluminum Fixture Fixture Size: 1.00 g (981 m/s²)
 Acceleration Level (g): 1.00 g (981 m/s²) Fixture Orientation: Vertical
*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the fixed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.10 x (freq)^{1.5}
 *The gravitational constant used for calculation by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s²

Condition of Unit

As Found: n/a

As Left: New Unit, In Tolerance

Notes

1. Calibration is traceable to one or more of the following; PTB 10065, PTB 10066 and NIST 683/283498.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 9001, ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 0.5-0.99 Hz; +/- 1.8%, 1-30 Hz; +/- 1.0%, 30.01-199 Hz; +/- 1.5%, 200-1 kHz; +/- 3.0%.

Technician: Mike Ferrio *MAF* Date: 4/18/2013

 **PCB PIEZOTRONICS**
VIBRATION DIVISION
3425 Walden Avenue Depew, NY 14043
TEL: 335-084-0013 FAX: 716-685-3886 www.pcb.com

ACCREDITED
CALIBRATION CERT #1042-01
PAGE 1 of 2
ACS-17
CAL26-1449154436-16046

Figura 41. Certificado de calibração do equipamento HVM-100.

7.2. Anexo 2 – Distribuição dos degraus para a pista de vibração de 35 m segundo a Norma ISO 5008 (2002).

Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)
0	160	90	4,24	85	90	8,48	125	110	12,72	100	75
0,08	160	115	4,32	85	90	8,56	115	115	12,8	90	95
0,16	165	140	4,4	115	75	8,64	125	110	12,88	85	75
0,24	155	135	4,48	145	55	8,72	140	100	12,96	75	55
0,32	135	135	4,56	150	55	8,8	125	95	13,04	85	65
0,4	135	115	4,64	125	50	8,88	115	90	13,12	90	70
0,48	140	100	4,72	110	55	8,96	110	75	13,2	95	55
0,56	145	95	4,8	90	55	9,04	110	70	13,28	100	50
0,64	150	90	4,88	75	65	9,12	100	45	13,36	115	50
0,72	140	85	4,96	50	50	9,2	100	25	13,44	135	50
0,8	135	75	5,04	50	50	9,28	100	5	13,52	140	65
0,88	135	90	5,12	55	40	9,36	85	40	13,6	145	75
0,96	135	100	5,2	55	20	9,44	65	50	13,68	150	90
1,04	125	95	5,28	55	20	9,52	65	65	13,76	140	85
1,12	120	95	5,36	55	20	9,6	70	75	13,84	115	75
1,2	120	95	5,44	50	25	9,68	70	85	13,92	100	90
1,28	115	95	5,52	45	25	9,76	75	90	14	95	100
1,36	120	100	5,6	45	25	9,84	75	75	14,08	90	95
1,44	125	110	5,68	50	30	9,92	85	75	14,16	85	90
1,52	135	100	5,76	45	40	10	100	75	14,24	90	70
1,6	115	90	5,84	45	50	10,08	115	75	14,32	95	50
1,68	90	95	5,92	45	45	10,16	115	75	14,4	55	45
1,76	70	95	6	40	40	10,24	115	75	14,48	25	40
1,84	50	90	6,08	55	30	10,32	120	90	14,56	40	30
1,92	50	75	6,16	90	25	10,4	125	100	14,64	50	25
2	55	65	6,24	100	30	10,48	125	90	14,72	55	45
2,08	70	50	6,32	100	40	10,56	135	75	14,8	55	45
2,16	85	40	6,4	95	50	10,64	90	95	14,88	75	55
2,24	85	45	6,48	85	70	10,72	45	125	14,96	90	70
2,32	85	55	6,56	70	90	10,8	45	135	15,04	110	75
2,4	85	55	6,64	50	110	10,88	45	125	15,12	135	90
2,48	75	55	6,72	40	125	10,96	45	115	15,2	120	95
2,56	75	65	6,8	40	110	11,04	45	85	15,28	100	100
2,64	75	75	6,88	30	90	11,12	50	55	15,36	95	100
2,72	95	85	6,96	30	65	11,2	65	50	15,44	100	85
2,8	115	90	7,04	25	45	11,28	75	40	15,52	115	65
2,88	135	75	7,12	25	40	11,36	95	70	15,6	110	50
2,96	150	65	7,2	30	20	11,44	115	95	15,68	100	40

Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)
3,04	165	70	7,28	50	25	11,52	150	120	15,76	100	65
3,12	160	75	7,36	65	30	11,6	190	145	15,84	110	90
3,2	135	75	7,44	75	40	11,68	170	125	15,92	115	85
3,28	125	55	7,52	85	45	11,76	150	115	16	120	75
3,36	115	40	7,6	75	65	11,84	125	95	16,08	125	90
3,44	115	45	7,68	75	90	11,92	100	75	16,16	140	100
3,52	120	50	7,76	70	100	12	100	70	16,24	125	90
3,6	110	55	7,84	90	95	12,08	100	65	16,32	115	75
3,68	100	70	7,92	100	95	12,16	90	55	16,4	110	90
3,76	110	75	8	115	110	12,24	95	55	16,48	100	100
3,84	110	75	8,08	125	115	12,32	115	65	16,56	100	95
3,92	90	65	8,16	135	115	12,4	110	70	16,64	95	95
4	75	55	8,24	135	115	12,48	100	70	16,72	115	115
4,08	75	75	8,32	125	110	12,56	110	65	16,8	145	140
4,16	75	90	8,4	125	100	12,64	115	65	16,88	150	150
16,96	160	145	21,28	135	100	25,6	100	70	29,92	210	235
17,04	160	145	21,36	140	100	25,68	90	70	30	200	220
17,12	150	125	21,44	145	110	25,76	75	75	30,08	190	195
17,2	145	100	21,52	160	115	25,84	90	85	30,16	205	215
17,28	150	110	21,6	170	115	25,92	90	65	30,24	175	190
17,36	160	135	21,68	165	120	26	70	45	30,32	150	185
17,44	160	140	21,76	165	120	26,08	45	30	30,4	130	175
17,52	165	145	21,84	160	120	26,16	15	15	30,48	130	175
17,6	150	150	21,92	150	115	26,24	15	20	30,56	140	165
17,68	135	165	22	150	120	26,32	30	15	30,64	165	160
17,76	135	150	22,08	145	125	26,4	40	40	30,72	155	145
17,84	135	145	22,16	150	125	26,48	50	50	30,8	145	140
17,92	125	145	22,24	150	125	26,56	75	70	30,88	155	140
18	115	140	22,32	140	140	26,64	100	90	30,96	145	140
18,08	115	135	22,4	125	160	26,72	135	120	31,04	150	140
18,16	120	135	22,48	135	140	26,8	165	150	31,12	135	135
18,24	125	120	22,56	140	125	26,88	200	160	31,2	130	125
18,32	140	100	22,64	135	125	26,96	240	165	31,28	120	110
18,4	160	100	22,72	125	125	27,04	255	165	31,36	100	110
18,48	145	100	22,8	145	135	27,12	265	160	31,44	85	110
18,56	135	100	22,88	160	150	27,2	245	155	31,52	85	100
18,64	125	95	22,96	160	160	27,28	225	160	31,6	100	100
18,72	125	90	23,04	150	145	27,36	215	165	31,68	100	95
18,8	115	85	23,12	150	135	27,44	220	180	31,76	110	100
18,88	95	85	23,2	160	140	27,52	225	190	31,84	135	100
18,96	100	90	23,28	160	145	27,6	245	190	31,92	155	105
19,04	110	115	23,36	165	135	27,68	255	190	32	165	105

Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)	Dist. (m)	Esq. (mm)	Dir. (mm)
19,12	110	100	23,44	170	120	27,76	255	185	32,08	160	105
19,2	115	95	23,52	160	140	27,84	265	185	32,16	160	110
19,28	125	85	23,6	145	150	27,92	265	195	32,24	130	120
19,36	140	75	23,68	165	150	28	250	195	32,32	105	125
19,44	150	85	23,76	185	145	28,08	270	210	32,4	90	125
19,52	165	90	23,84	185	145	28,16	280	215	32,48	80	130
19,6	165	90	23,92	180	150	28,24	265	235	32,56	75	125
19,68	165	95	24	190	135	28,32	270	250	32,64	75	135
19,76	125	100	24,08	190	115	28,4	260	260	32,72	90	125
19,84	100	110	24,16	160	115	28,48	255	275	32,8	100	115
19,92	110	115	24,24	125	120	28,56	255	275	32,88	105	115
20	100	120	24,32	125	125	28,64	265	285	32,96	100	115
20,08	100	120	24,4	115	160	28,72	265	260	33,04	105	110
20,16	110	120	24,48	115	160	28,8	280	240	33,12	110	110
20,24	115	120	24,56	100	140	28,88	285	225	33,2	90	130
20,32	125	115	24,64	85	125	28,96	285	225	33,28	75	160
20,4	135	110	24,72	75	115	29,04	285	235	33,36	90	160
20,48	145	100	24,8	75	110	29,12	270	235	33,44	100	165
20,56	150	95	24,88	95	100	29,2	255	240	33,52	100	150
20,64	165	100	24,96	115	100	29,28	250	235	33,6	85	150
20,72	180	110	25,04	115	75	29,36	245	235	33,68	70	150
20,8	180	110	25,12	115	55	29,44	235	235	33,76	75	135
20,88	170	110	25,2	140	50	29,52	230	230	33,84	80	130
20,96	125	100	25,28	165	45	29,6	230	230	33,92	75	120
21,04	100	95	25,36	150	65	29,68	235	220	34	75	110
21,12	120	100	25,44	140	75	29,76	240	215	34,08	70	95
21,2	125	110	25,52	120	75	29,84	225	225	34,16	55	80
34,24	40	65	34,48	35	65	34,72	40	80	34,96	45	55
34,32	30	70	34,56	45	65	34,8	55	80	35,04	30	40
34,4	30	70	34,64	40	85	34,88	55	65	–	–	–

Dist: distância em metros a partir do início da pista. Esq: trecho esquerdo. Dir: trecho direito. mm: altura do degrau em milímetros.

7.3. Anexo 3 – Exemplo gráfico de acelerações obtidas para cada eixo (x, y, z) ao longo do deslocamento em pista padronizada de ensaio de vibração de 35 m.

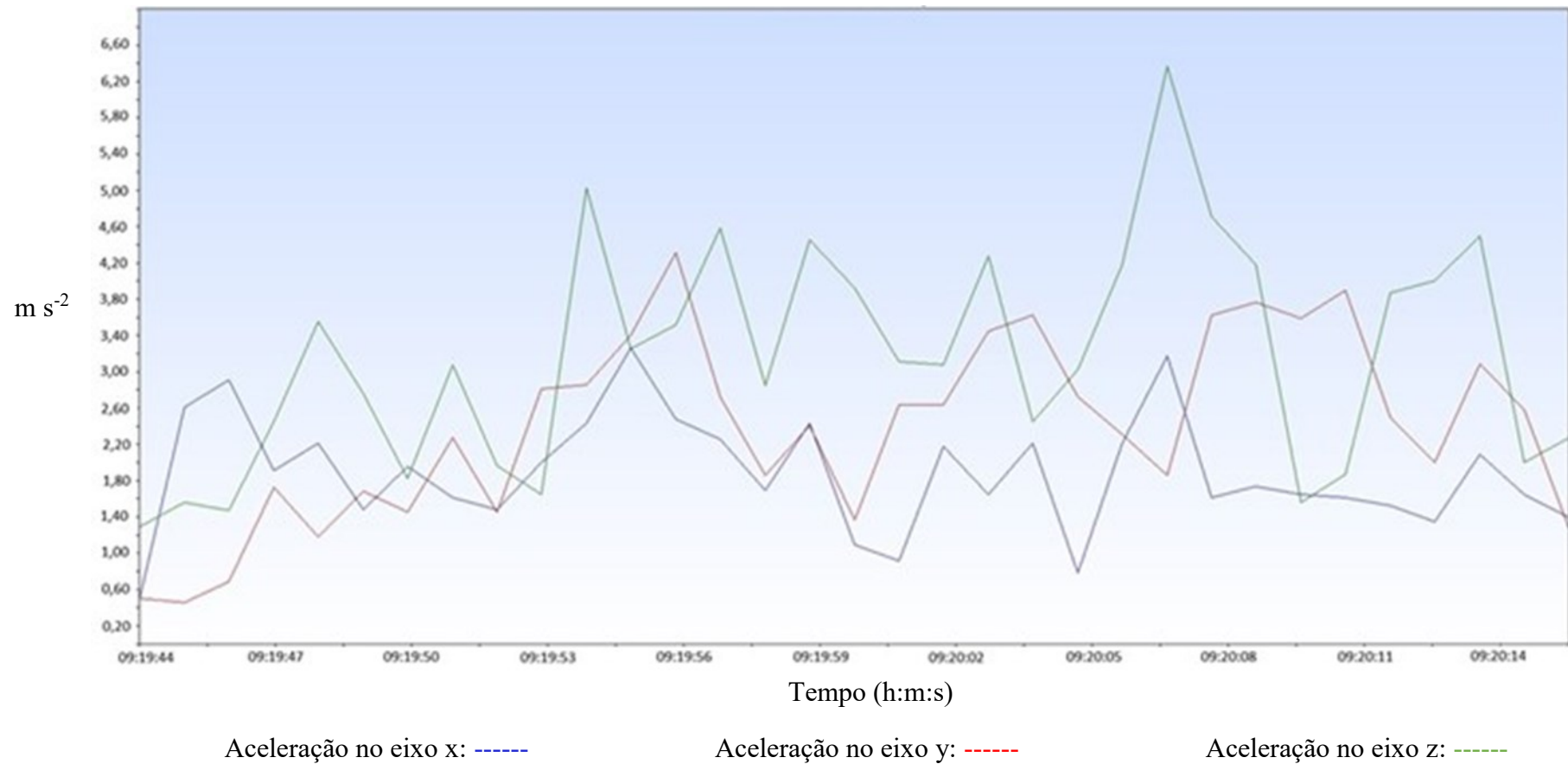


Figura 42. Exemplo gráfico de acelerações nos eixos x, y e z obtida no deslocamento sobre a pista de vibração de ensaio padronizada em uma das repetições realizadas com o trator utilizando a máxima lastragem em velocidade de deslocamento de $1,19 \text{ m s}^{-1}$.

7.4. Anexo 4 – Recomendação do fabricante para uso dos pneus TM95 14.9-24 (dianteiros) e TM95 23.1-30 (traseiros).

TM95

ESTRUTURA CONVENCIONAL

APLICAÇÃO

Pneu destinado a eixos trativos, para todos os tipos de cultura em solos consistentes.

CARACTERÍSTICAS

- Barras alternadas longas e curtas, alinhadas ao flanco do pneu.
- Barras com elevada profundidade e espaçadas entre si.
- Fundo da banda de rodagem com diferentes inclinações (planos diferenciados de rigidez).

BENEFÍCIOS

- Excelente capacidade de tração em todos os tipos de terreno.
- As barras alternadas minimizam as vibrações horizontais e verticais (efeito cavalgar), oferecendo uma rodagem mais uniforme.
- Proporciona autolimpeza eliminando resíduos durante o trabalho, aumentando a produtividade.

CLASSIFICAÇÃO R1

Medida	Aplicação em Trator Velocidade Máxima = 32 km/h			Prof. do sulco (mm)	Câmara de ar Válvula TR218-A	Larg. da seção (mm)	Diâm. externo (mm)	Raio estático sobre carga	Circunf. de rolamento	Lastro de líquido (lts = kg)
	Índice de Carga e Código de Velocidade	Pressão de ar (lb/poi)	Carga máxima (kg)							
9.5-24	6 4	28 16	940 945	33	24T520	248	1061	494	3190	50
12.4-24	6 10	24 40	1200 1610	36	24T640	322	1152	532	3450	80
14.9-24	6 8	20 26	1510 1760	38,0	24T800	396	1253	565	3770	150
14.9-24 TL	8 8	26 24	1760 2040	38,0	-	396	1253	565	3770	150
16.9-24	8 10	24 28	2040 2230	39	24T800	438	1310	598	3993	234
14.9-26	6 8	20 26	1560 1820	38	26T800	400	1326	607	3990	170
18.4-26	12 10	34 26	2130 2645	40	26T870	480	1438	646	4350	280
12.4-28	6 6	24 20	1275 1615	36	28T675	308	1267	583	3810	110
14.9-28	8 8	26 24	1880 2180	38	28T790	377	1362	620	4095	180
16.9-28	10 6	28 18	2385 1895	39	28T290	434	1435	649	4340	220
16.9-30	8 8	24 20	2245 2420	39	30T940	412	1480	671	4448	250
18.4-30	10 12	26 32	2815 3180	40	30T940	481	1536	696	4645	320
18.4-30 TL	8 10	20 20	2420 3460	40	-	481	1536	696	4645	320
23.1-30	12 10	24 20	3845 3950	43	30T1230	591	1683	760	5091	510
24.5-32	12 14	24 28	4390 4800	43,5	32T1230	631	1803	792	5455	600
24.5-32 TL	6 6	18 16	2015 2250	39	34T995	399	1584	720	4524	280
18.4-34	8 10	20 26	2565 2990	40	34T995	479	1638	749	4955	360
15.5-38	12 8	32 26	3375 2060	37,0	38T690	395	1475	727	4745	230
18.4-38	10 12	26 32	3165 3575	40	38T970	483	1761	805	5330	370
20.8-38	10 12	22 28	3480 4000	42	38T1130	543	1831	845	5540	480

Figura 43. Catálogo disponibilizado pelo fabricante dos pneus empregados no ensaio de vibração em pista padronizada.